GUALTER ◆ NEWTON ◆ HELOU

TÓPICOS DE FÍSICA

ELETRICIDADE

FÍSICA MODERNA

ANÁLISE DIMENSIONAL

3

RESOLUÇÕES

Ao professor

Nesta quinta versão de *Tópicos de Física*, celebramos 30 anos do primeiro lançamento da coleção. O trabalho sempre foi pautado em proporcionar ao colega professor as condições de lecionar Física usufruindo de um texto completo, correto e consistente, permeado por exercícios variados, em diversos níveis de profundidade. Em nossa jornada, estamos certos de termos colaborado em grande medida para o bom ensino dessa fascinante disciplina no Brasil.

Para comemorarmos a nova edição do trabalho, optamos por oferecer ao colega que nos prestigiou com a adoção de nossa obra um presente que, temos certeza, é de grande valia: este livreto com a resolução de **todos os exercícios do Volume 3**. Nele você encontrará comentados os exercícios *Nível 1*, *Nível 2*, *Nível 3* e *Para raciocinar um pouco mais*.

Também somos professores e como você, colega, sabemos da importância de termos referências para o desenvolvimento do trabalho em sala de aula. Entendemos que sugestões de resolução e encaminhamento de exercícios são sempre bem-vindas, já que podem conter maneiras mais simples e diretas de se chegar ao resultado pretendido. Sendo assim, colocamos nossa experiência à sua disposição, propondo caminhos que, eventualmente, possam facilitar sua lida no dia a dia.

Observe que nesta edição você encontrará questões contextualizadas e, dentro do possível, interdisciplinares, de acordo com os modernos paradigmas educacionais. As atividades foram encadeadas de maneira coerente e lógica, de modo a favorecer ao aluno a construção de um conhecimento bem sequenciado e sólido. A seção *Para racionar um pouco mais* foi reformulada e ampliada para oferecer novos desafios àqueles que pretendem aprimorar seu domínio da matéria e se preparar para olimpíadas e exames vestibulares mais concorridos.

Colega professor, esperamos que aproveite bem esse material, e nos colocamos à disposição para ajudar no que for preciso.

Desde já, agradecemos pelas críticas e sugestões que possam contribuir com este trabalho.

Os autores

Sumário

Unidade I – ELETROSTÁTICA

Tópico 1 – Cargas elétricas

Página 18

2.
Perdendo elétrons, o copo ficará eletrizado positivamente.
Assim:
$Q = n\,e \Rightarrow Q = 5{,}0 \cdot 10^{13} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$

$\boxed{Q = +8{,}0 \cdot 10^{-6}\ C}$

Resposta: $+8{,}0 \cdot 10^{-6}$ C

3.
a) Se Q_1 e Q_2 se atraem, suas cargas elétricas possuem sinais opostos. Não sabemos ainda qual é positiva e qual é negativa.
b) Se Q_1 é repelida por Q_3 (positiva), Q_1 também é positiva. Assim, o sinal de Q_2 é negativo.

Respostas: a) Sinais opostos; b) Negativa

4.
Os bons condutores de eletricidade são os metais e a grafita.
Assim, da lista fornecida, os bons condutores são:
d) alumínio e) ouro g) platina
Resposta: d, e, g

5.
No atritamento entre pente e cabelo ocorreu troca de cargas elétricas (elétrons) entre eles. Assim, o pente ficou eletrizado, podendo atrair pequenos pedaços de papel.
Resposta: Aluna D

6.
No atritamento, elétrons passam de um corpo para o outro. Dessa forma, quem perdeu elétrons fica eletrizado positivamente e quem ganhou elétrons fica eletrizado negativamente.

Resposta: e

7.
Se as esferas são idênticas (mesmo raio), não há razão para que uma delas fique mais eletrizada do que a outra.
Assim, aplicando o Princípio da Conservação das Cargas Elétricas, temos:

$$Q = \frac{Q_{total}}{n} \Rightarrow Q = \frac{(+3q) + (-2q) + (+5q)}{3} = \frac{+6q}{3}$$

$\boxed{Q_A = Q_B = Q_C = +2q}$

Resposta: $+2q$

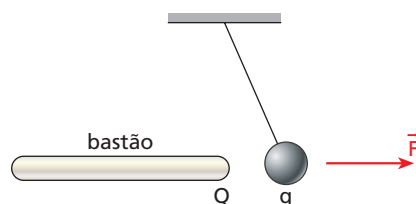
8.
1) No atritamento entre os corpos x e y, x cede elétrons para y.
Assim, após o atritamento, temos:
x ⟶ carga positiva
y ⟶ carga negativa

2) O corpo z, neutro, ao tocar o corpo x, perderá elétrons para x (positivo).
Assim, após o contato, temos:
x ⟶ carga positiva
z ⟶ carga positiva

Resposta: c

9.
A atração pode ocorrer quando as esferas estão eletrizadas com cargas elétricas de sinais opostos (uma positiva e a outra negativa) ou quando uma delas estiver eletrizada (positiva ou negativamente) e a outra neutra. Nesse caso, na neutra ocorrerá a separação de alguns "pares" de elétrons-prótons por indução.

Resposta: c

10.
Etapa I

Se houve repulsão, as cargas do bastão e da esfera do pêndulo possuem sinais iguais.

Etapa II
O contato da mão do aluno descarregou a esfera do pêndulo, sua carga elétrica ficou nula. A atração entre a esfera e o bastão ocorre por indução eletrostática

Etapa III
Quando a esfera toca o bastão, ela adquire carga de mesmo sinal da do bastão e eles se repelem.
Dessa forma, a resposta deverá ser tal que nas etapas I e III as cargas da esfera e do bastão tenham mesmo sinal. Na etapa II, a carga da esfera é nula.

Resposta: e

11.
I) Correto.
No contato, a carga total do conjunto se espalha pela nova superfície externa (praticamente a soma das áreas externas). Quando separamos, os condutores estarão eletrizados com cargas elétricas de mesmo sinal.
II) Correto.
A separação das cargas de um ou mais condutores em contato é feita pela atração ou repulsão entre as cargas do indutor e do induzido. No final do processo de eletrização, o indutor e o induzido terão cargas elétricas de sinais opostos.
III) Correto.
No atritamento, um dos corpos cede elétrons para o outro. No final do processo, os corpos estarão eletrizados com cargas de sinais opostos.

Resposta: e

12.
Como o corpo possui mais prótons do que elétrons, sua carga é positiva.
$Q = n\,e = (5 \cdot 10^{19} - 4 \cdot 10^{19}) \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ (C)
$Q = 1{,}6 \cdot 10^{19} \cdot 10^{-19}$ C
$Q = +1{,}6$ C

Resposta: c

13.

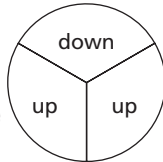
a) O cálcio perde dois elétrons.
$Q = +2\,e$
$Q = +2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$
$Q = +3{,}2 \cdot 10^{-19}\ C$

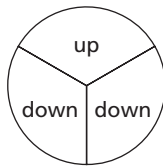
b) Cada cloro recebe um elétron.
$Q = -1\,e$
$Q = -1 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$
$Q = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$

Respostas: a) $+3{,}2 \cdot 10^{-19}$ C; b) $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

14.

Próton
(p) u, u, d

$$(p) = \left(+\frac{2}{3}\,e\right) + \left(+\frac{2}{3}\,e\right) + \left(-\frac{1}{3}\,e\right) = +e$$

Nêutron
(n) u, d, d

$$(n) = \left(+\frac{2}{3}\,e\right) + \left(-\frac{1}{3}\,e\right) + \left(-\frac{1}{3}\,e\right) = 0$$

Resposta: d

15.

a) Falso.
Podemos tirar apenas alguns elétrons.

b) Falso.
No atritamento, elétrons passam de um para o outro corpo. O que perdeu elétrons fica eletrizado positivamente e o que recebeu elétrons fica negativo.

c) Falso.
Dentro de um mesmo sistema pode haver trocas de cargas elétricas. O total de cargas permanece constante.

d) Falso.
Podemos encontrar dois condutores e eletrizá-los por indução eletrostática.

e) Correto.
Como os condutores são idênticos, não há razão para que um deles fique mais eletrizado do que o outro. No final, metade da carga total encontra-se em cada um deles.

Resposta: e

17.

1) Contato de **A** com **B**

$$\text{Antes}\begin{cases} Q_A = 0 \\ Q_B = 1{,}2\ \mu C \end{cases}$$

$$\text{Depois}\begin{cases} Q_A' = 0{,}60\ \mu C \\ Q_B' = 0{,}60\ \mu C \end{cases}$$

2) Contato de **A** com **C**

$$\text{Antes}\begin{cases} Q_A' = 0{,}60\ \mu C \\ Q_C = 1{,}8\ \mu C \end{cases}$$

$$\text{Depois}\begin{cases} Q_A'' = Q_C' = \dfrac{(0{,}60 + 1{,}8)\ \mu C}{2} \\ Q_A'' = Q_C' = 1{,}2\ \mu C \end{cases}$$

Assim, no final, temos:
$Q_A'' = 1{,}2\ \mu C$
$Q_B' = 0{,}60\ \mu C$
$Q_C' = 1{,}2\ \mu C$

Resposta: d

18.

1) **A** e **B**

$$Q = \frac{Q_A + Q_B}{2} = \frac{(+2{,}40\ nC) + 0}{2}$$

$Q_A' = Q_B' = +1{,}20\ nC$

2) **B** e **C**

$$Q_B'' = Q_C' = \frac{(+1{,}20\ nC) + (-4{,}80\ nC)}{2}$$

$Q_B'' = Q_C' = -1{,}80\ nC$

No contato com **B**, **C** perdeu uma carga elétrica igual a:
$\Delta Q_C = (-4{,}80\ nC) - (-1{,}80\ nC) \Rightarrow \Delta Q_C = -3{,}00\ nC$
Assim:
$\Delta Q_C = n\,e \Rightarrow -3{,}00 \cdot 10^{-9} = n\,(-1{,}60)\,10^{-19}$

$\boxed{n = 1{,}875 \cdot 10^{10}\ \text{elétrons}}$

Resposta: b

19.

1) As cargas distribuem-se na superfície externa da esfera oca.
2) A esfera I toca a face interna da esfera oca, que está eletricamente neutra. A esfera I não adquire carga elétrica.
3) A esfera II toca a face externa, na qual estão distribuídas as cargas elétricas positivas. A esfera II perde elétrons para essa superfície e torna-se eletricamente positiva.

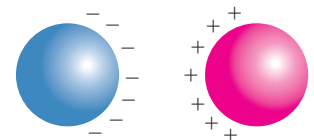
Resposta: b

20.

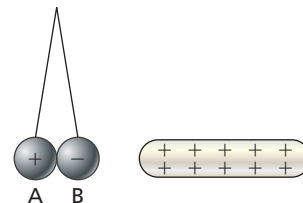
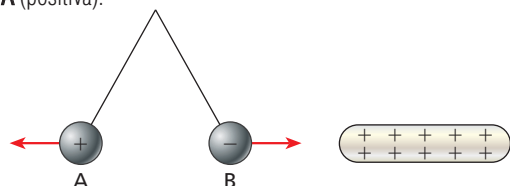
Toda a carga irá para a superfície externa da esfera oca.
Assim:
$Q = 60\ mC + (-6\ mC)$
$Q = +54\ mC$

Resposta: 54 mC

21.

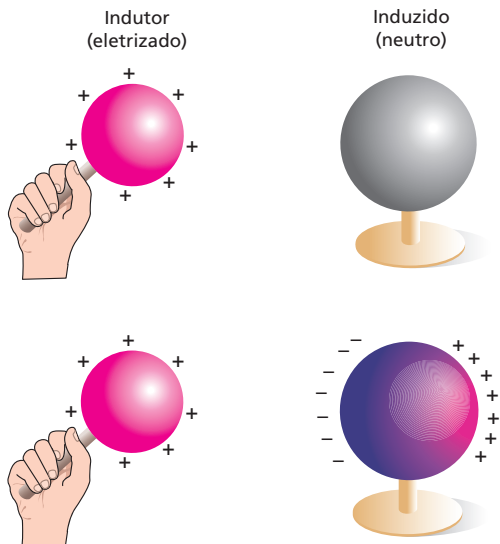
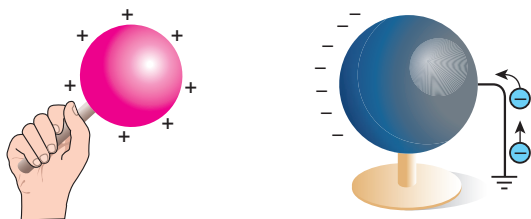
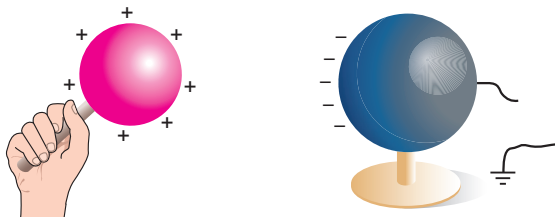
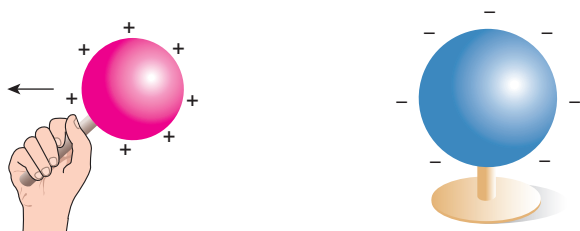
Após o afastamento da barra, as cargas (de sinais opostos) existentes nas esferas irão se atrair e teremos:

Resposta: a

22.

Na aproximação do bastão eletrizado, observamos uma separação de cargas (por indução) nas esferas. Passando elétrons da esfera **A** para a esfera **B**.

As cargas positivas do bastão irão atrair a esfera **B** (negativa) e repelir a esfera **A** (positiva).

Resposta: d

23.

A eletrização por indução é realizada obedecendo os passos a seguir:

1. Aproximar o indutor (condutor eletrizado) do induzido (condutor neutro).

2. Na presença do indutor, ligar o induzido à terra.

3. Desligar o induzido da terra.

4. Afastar o indutor do induzido.

Resposta: c

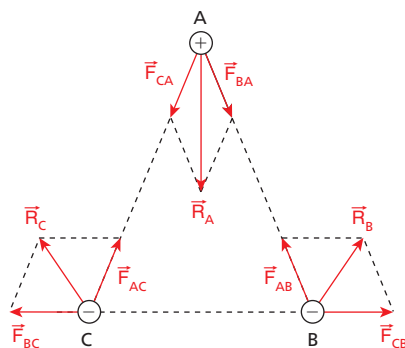
Página 25

24.

Apesar de as cargas elétricas de **A** e **B** serem de valores absolutos diferentes, as intensidades das forças de interação são iguais.

Resposta: a

25.

No esquema representado a seguir, observamos as forças de interação e as respectivas resultantes em cada esfera condutora.

Note que entre partículas eletrizadas com cargas de mesmo sinal temos repulsão, e de sinais opostos, atração.

Resposta: b

27.

Lei de Coulomb

$$F = K\frac{|Q\,q|}{d^2} \Rightarrow F\,d_2 = K\,|Q\,q| = \text{constante}$$

Assim:

$$F_1\,d_1^2 = F_2\,d_2^2$$

Sendo:

$$F_2 = \frac{F_1}{4} \Rightarrow F_1 = 4F_2$$

Temos:

$$4\,F_2 \cdot (20)^2 = F_2\,d_2^2$$

$$d_2 = 40\text{ cm}$$

Resposta: d

28.

Lei de Coulomb:

$$F = K\frac{|q_1 \cdot q_2|}{d^2}$$

Assim, substituindo os valores numéricos, temos:

$$F = 9 \cdot 10^9\,\frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{1^2}$$

$$\boxed{F = 0{,}54\text{ N}}$$

Resposta: 0,54 N

29.

Lei de Coulomb

$$F = K\frac{|\,Q\,q\,|}{d^2}$$

Assim:

$$F = 9 \cdot 10^9\,\frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{(1 \cdot 10^{-10})^2}$$

$$F \cong 2{,}3 \cdot 10^{-8}\text{ N}$$

Portanto, a força de repulsão é da ordem de 10^{-8} N.

Resposta: d

30.

Lei de Coulomb

$F = K\dfrac{|Q_1\,Q_2|}{d^2}$

1) Na situação inicial: $F = K\dfrac{|Q_1\,Q_2|}{d^2}$

2) Na situação final: $F' = K\dfrac{|Q_1\,Q_2|}{(d')^2} = 4\,F$

Assim: $K\dfrac{|Q_1\,Q_2|}{(d')^2} = 4\,K\dfrac{|Q_1\,Q_2|}{d^2}$

$(d')^2 = \dfrac{d^2}{4} = \Rightarrow d' = \dfrac{d}{2} = \dfrac{10\ \text{cm}}{2}$

$\boxed{d' = 5{,}0\ \text{cm}}$

Resposta: 5,0 cm

31.

Lei de Coulomb

$F = K\dfrac{|Q_1\,Q_2|}{d^2}$

1) No início: $F = K\dfrac{Q\,3Q}{d^2} = 3\,K\dfrac{Q^2}{d^2} \Rightarrow \dfrac{F}{3} = K\dfrac{Q^2}{d^2}$ (I)

2) No contato, como são esferas idênticas, temos:

$Q_1' = Q_2' = \dfrac{(+Q) + (-3\,Q)}{2}$

$Q_1' = Q_2' = -Q$

3) No final:

$F' = K\dfrac{Q\,Q}{d^2} = K\dfrac{Q^2}{d^2}$ (II)

Igualando I e II, vem:

$\boxed{F' = \dfrac{F}{3}}$

Assim, podemos dizer que a força de interação passa a ser repulsiva, de intensidade $\dfrac{F}{3}$.

Resposta: Repulsiva, de módulo $\dfrac{F}{3}$

32.

A função centrípeta é desempenhada pela força eletrostática.

Assim:

$F_{cp} = F_e$

$\dfrac{m\,v^2}{R} = \dfrac{K|Q\,q|}{R^2}$

$v^2 = \dfrac{K|Q\,q|}{m\,R}$

$v^2 = \dfrac{9 \cdot 10^9\,(1{,}6 \cdot 10^{-19})^2}{9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-10}}$

$v^2 \cong 2{,}53 \cdot 10^{12}$

$\boxed{v \cong 1{,}6 \cdot 10^6\ \text{m/s}}$

Resposta: c

33.

Quando o copinho está pairando no ar, temos:

$F_e = P$

Assim: $K\dfrac{|Q\,q|}{d^2} = m\,g$

$9 \cdot 10^9\dfrac{Q^2}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \Rightarrow \dfrac{9 \cdot 10^9\,Q^2}{9 \cdot 10^{-4}} = 10^{-2}$

$10^9\,Q^2 = 10^{-6} \Rightarrow Q^2 = 10^{-15} = 10 \cdot 10^{-16}$

$\boxed{Q \cong 3{,}2 \cdot 10^{-8}\ C}$

Resposta: d

34.

No equilíbrio, temos:

$F_e = P_{(anel)}$

$K = \dfrac{|Q\,Q|}{d^2} = m\,g$

$9 \cdot 10^9\dfrac{Q^2}{(1 \cdot 10^{-2})^2} = 0{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 10$

$Q^2 = 10^{-16}$

$Q = 1 \cdot 10^{-8}\ C$

Essa carga foi adquirida pelo anel superior (inicialmente neutro) no contato com o anel eletrizado. Assim, no início, a carga existente no anel eletrizado vale:

$\boxed{q = 2 \cdot 10^{-8}\ C}$

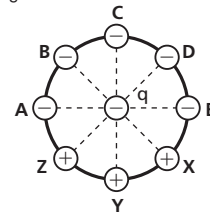
Resposta: b

35.

1) Como na diagonal $(-Q)\ q_1$ não existe componente de força, temos:
   $q_1 = -Q$
2) Se q_2 é negativa, o exposto acontece.
3) Se q_2 é positiva, ela não pode ser igual (quando a resultante na carga de prova é nula) ou maior do que $+Q$ (situação em que a força $\vec{F}$ indicaria para $+Q$). Assim, teríamos:
   $q_2 < +Q$
   Dessa forma, é verdadeiro que:
   $q_1 + q_2 < 0$

Resposta: d

36.

Observando a figura a seguir:

notamos que:

1) Em **Q** a resultante de **A** e **E** é nula.
2) **B**, **C** e **D** provocam em **Q** uma força resultante $\vec{F}_1$.
3) Por simetria, **Z**, **Y** e **X** também provocam em **Q** uma resultante $\vec{F}_1$.
   Assim, em **q**, temos:
   $F_R = 2F_1$

Resposta: e

37.

Lei de Coulomb

$F = K\dfrac{|Q\,q|}{d^2}$

Aplicando-se a Lei de Coulomb na situação da figura **a**, temos:

$$F_e = K \frac{|Q\ Q|}{(\ell\sqrt{2})^2} \Rightarrow F_e = \frac{1}{2} \cdot K \frac{|Q\ Q|}{\ell^2} \quad (I)$$

Na situação da figura **b**, vem:

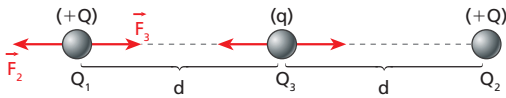
$$F_e' = K \frac{|Q\ Q|}{\ell^2} \quad (II)$$

Comparando-se I e II, temos:

$F_e' = 2F_e$

Resposta: $F_e' = 2F_e$

39.

Como as três cargas estão soltas, para que permaneçam em equilíbrio é necessário que a carga $\mathbf{Q_3}$ seja negativa.

Observe que em Q_1 deve existir uma força de repulsão de Q_2 e outra de atração de Q_3.

$F_2 = F_3$

$$K \frac{Q\ Q}{(2d)^2} = K \frac{Q\ q}{d^2}$$

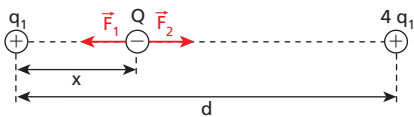
$$\frac{Q}{4d^2} = \frac{q}{d^2} \Rightarrow |q| = \frac{Q}{4}$$

Sendo Q_3 negativa (observe que, se Q_3 fosse positiva, ela iria refletir Q_1, desmanchando a configuração), temos:

$$q = -\frac{Q}{4}$$

Resposta: $-\frac{Q}{4}$

40.

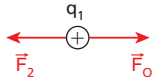
a) Para não ocorrer movimentação de **Q**, a resultante das forças de atração exercidas por q_1 e $4\,q_1$ deve ser nula.

$F_1 = F_2$

$$K \frac{|q_1\ Q|}{x^2} = K \frac{|4\ q_1\ Q|}{(d - x)^2}$$

$$\frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|4\ q_1|}{(d - x)^2} \Rightarrow 4\,x^2 = (d - x)^2$$

$$2x = d - x \Rightarrow 3x = d \Rightarrow \boxed{x = \frac{d}{3}}$$

Nota: Existe uma outra solução matemática, em que $x = -d$, que não serve fisicamente. Nesse caso, apesar de $|\vec{F}_{1,3}| = |\vec{F}_{2,3}|$, essas forças terão sentidos iguais, fazendo com que a carga q_3 não esteja em equilíbrio.

b) O equilíbrio da partícula q_1 ocorrerá se:

$F_2 = F_Q$

$$K \frac{|q_1\ 4\ q_1|}{d^2} = K \frac{|q_1\ Q|}{x^2}$$

$$\frac{|4q_1|}{d^2} = \frac{|Q|}{x^2} \Rightarrow x^2\,|4q_1| = d^2\,|Q| \Rightarrow \left(\frac{d}{3}\right)^2 |4q_1| = d^2\,|Q|$$

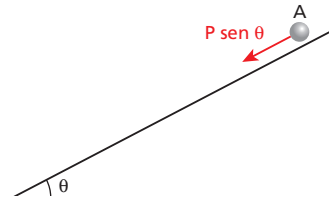
$$\boxed{|Q| = \frac{4|q_1|}{9}}$$

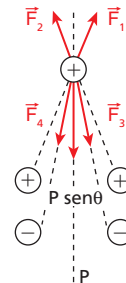
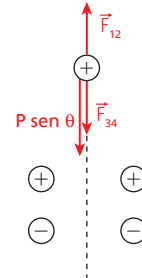
Nota: Este cálculo pode ser feito utilizando-se a carga $\mathbf{q_2}$. O valor obtido será o mesmo.

Respostas: a) $\frac{d}{3}$; b) $\frac{4|q_1|}{9}$

41.

Na esfera abandonada no ponto **A** do plano inclinado, a força resultante deve ter a direção AP e sentido de **A** para **P**.

Isso ocorre apenas na situação encontrada na alternativa **e**.

Além da componente tangencial da força peso (P sen θ), ainda temos a resultante das forças elétricas. $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ são forças de repulsão exercidas pelas cargas positivas.

$\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$ são forças de atração exercidas pelas cargas negativas.

As resultantes parciais observadas:

A resultante final:

Resposta: e

42.

a) Lei de Coulomb:

$$F = K_0 \frac{|Q_1 Q_1|}{d^2}$$

Sendo: $K_0 = \frac{1}{4 \pi \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ (SI)

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-10}}{(0,3)^2}$$

$$F = 5 \cdot 10^{-8}\ N$$

Cargas elétricas de sinais opostos: força atrativa.

b) Após o contato:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

$$Q = \frac{(+1 \cdot 10^{-9}) + (-5 \cdot 10^{-10})}{2}$$

$$Q = \frac{[(+10) + (-5)]}{2} \cdot 10^{-10}$$

$$Q = +2,5 \cdot 10^{-10}\ C$$

Lei de Coulomb:

$$F = K_0 \frac{|Q\ Q|}{d^2}$$

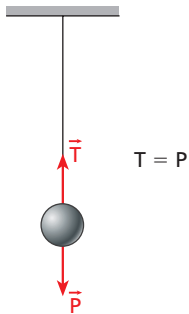
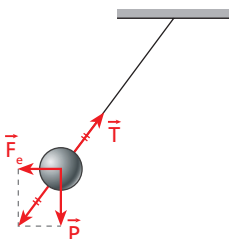
$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{(2,5 \cdot 10^{-10})^2}{(0,3)^2}$$

$$\boxed{F = 6,25 \cdot 10^{-9}\ N}$$

Agora as cargas elétricas têm sinais iguais: força repulsiva.

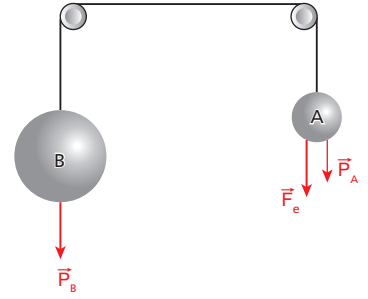
Respostas: a) $5 \cdot 10^{-8}$ N; atrativa; b) $6,25 \cdot 10^{-9}$ N; repulsiva

44.

No início

Após o jato de ar eletrizar as esferas com cargas elétricas de mesmo sinal, as esferas repelem-se.

$|\vec{T}| = |\vec{F}_e + \vec{P}|$

Resposta: c

45.

Na situação inicial, temos:

$$F_e + P_A = P_B \Rightarrow K \frac{|Q_A\ Q_C|}{d^2} + m\,g = M\,g$$

$$k \frac{Q^2}{d^2} = (M - m)g \Rightarrow d^2 = \frac{K\,Q^2}{(M - m)\,g}$$

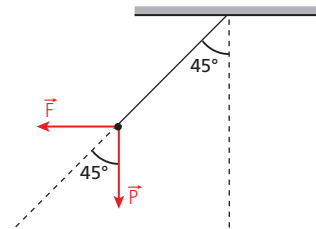
Na situação final, temos: $(d')^2 = \frac{K\,Q^2}{(4M - 4m)\,g} = \frac{K\,Q^2}{4(M - m)\,g}$.

Assim:

$$(d')^2 = \frac{d^2}{4} \Rightarrow \boxed{d' = \frac{d}{2}}$$

Resposta: b

46.

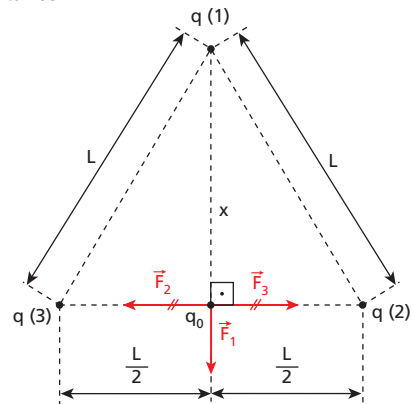
Observe o esquema a seguir:

Sendo o ângulo de inclinação 45°, F = P. Assim:

$$K \frac{|q \cdot q|}{d^2} = mg \Rightarrow \frac{9 \cdot 10^9 q^2}{(0,30)^2} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10$$

$$q^2 = 10^{-12} \Rightarrow q = 1 \cdot 10^{-6}\ C \Rightarrow \boxed{q = 1\ \mu C}$$

Resposta: 1 μC

47.

Na carga q_0, temos:

Atenção que: $\vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$. Assim, a resultante em q_0 é $\vec{F}_1$.

Aplicando a Lei de Coulomb, vem: $F_1 = K \frac{|q \cdot q_0|}{x^2}$

Cálculo de x por Pitágoras:

$$L^2 = x^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 \Rightarrow L^2 = x^2 + \frac{L^2}{4}$$

$$x^2 = L^2 - \frac{L^2}{4} = \frac{3L^2}{4} \Rightarrow x^2 = \frac{3}{4} \cdot (3{,}0 \cdot 10^{-2})^2 \text{ m} = \frac{27 \cdot 10^{-4}}{4} \text{ m}$$

Portanto: $F_1 = 9 \cdot 10^9 \dfrac{3{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6}}{\dfrac{27 \cdot 10^{-4}}{4}}$

$$\boxed{F_1 = 80 \text{ N}}$$

Resposta: 80 N

48.

1) Esfera eletrizada com carga **Q** em contato com outra igual, neutra.
   $Q_{antes} = Q_{depois}$
   $Q + 0 = Q_1 + Q_2$
   Porém: $Q_1 = Q_2$ (esferas iguais)
   $Q = 2Q_1 \Rightarrow Q_1 = Q_2 = \dfrac{Q}{2^1}$

2) Esfera eletrizada com carga $\dfrac{Q}{2}$ em contato com outra igual, neutra:
   $Q_{antes} = Q_{depois}$
   $\dfrac{Q}{2} + 0 = Q_1' + Q_2'$
   Porém: $Q_1' = Q_2'$ (esferas iguais)
   $\dfrac{Q}{2} = 2Q_1' \Rightarrow Q_1' = Q_2 = \dfrac{Q}{2^2}$

   Portanto podemos afirmar que, após sucessivos contatos com esferas iguais neutras, temos:

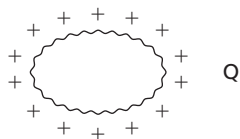
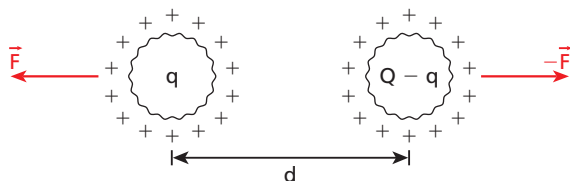
   $Q_n = \dfrac{Q}{2^n}$

   Observe que nesta questão foram feitos 11 contatos: o primeiro mais dez.

   $$\boxed{Q_n = \frac{Q}{2^{11}}}$$

Resposta: c

49.

No início:

Após a separação:

Aplicando-se a Lei de Coulomb, temos:

$$F = K\frac{q\,(Q - q)}{d^2}$$

Como d é fixo, temos:

$$F = \left(\frac{K}{d^2}\right) \cdot [q \cdot (Q - q)]$$

Sendo $\dfrac{K}{d^2}$ constante, **F** depende do produto $q \cdot (Q - q)$.

Assim, para **F** máximo, o produto deve ser máximo. No entanto, da Matemática sabemos que o produto de dois números (quando a soma entre eles é constante) é máximo quando eles são iguais.

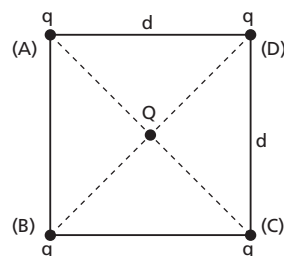
Portanto:

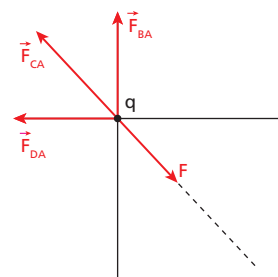
$q = Q - q$

$2q = Q$

$\dfrac{q}{Q} = \dfrac{1}{2}$

Resposta: $\dfrac{1}{2}$

50.

Em **A**, supondo que as cargas **q** sejam positivas e **Q** seja negativa, temos:

Condição de equilíbrio:

$$\vec{F}_{BA} + \vec{F}_{CA} + \vec{F}_{DA} + \vec{F} = \vec{0}$$

Somando $\vec{F}_{BA} + \vec{F}_{DA}$:

Por Pitágoras:

$F_R^2 = F_{BA}^2 + F_{DA}^2$

Como: $F_{BA} = F_{DA} = K\dfrac{|q\,q|}{d^2}$

temos:

$F_R^2 = 2F_{BA}^2 \Rightarrow F_R = \sqrt{2}\,F_{BA}$

$F_R = \sqrt{2}\,K\dfrac{|q\,q|}{d^2}$

Assim:

$F_R + F_{CA} = F$

$$\sqrt{2}\,K\frac{|q\,q|}{d^2} + K\frac{|q\,q|}{(d\sqrt{2})^2} = K\frac{|Q\,q|}{\left(\dfrac{d\sqrt{2}}{2}\right)^2}$$

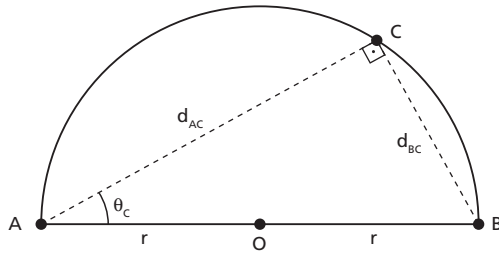
$$\frac{\sqrt{2}\,|q|}{d^2} + \frac{|q|}{d^2\,2} = \frac{|Q|}{\dfrac{d^2\,2}{4}}$$

$$\sqrt{2}\,|q| + \frac{|q|}{2} = 2\,|Q|$$

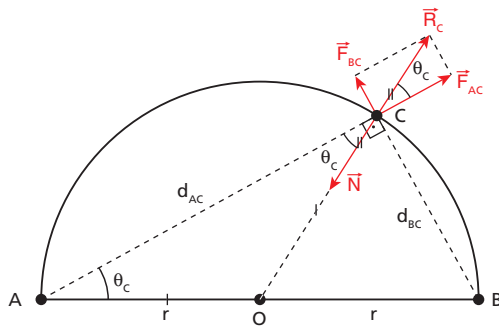
$$\frac{(2\sqrt{2} + 1)|q|}{2} = 2|Q| \Rightarrow |Q| = \left(\frac{(2\sqrt{2} + 1)}{4}\right)|q|$$

Nota: Se as cargas **q** fossem negativas e **Q** fosse positiva, o resultado seria o mesmo.

Resposta: $\left(\dfrac{2\sqrt{2} + 1}{4}\right) \cdot |q|$

51.

$$\text{tg}\ \theta_C = \frac{d_{BC}}{d_{AC}} \qquad \text{(I)}$$

Para que a esfera vazada **C** permaneça em equilíbrio, é preciso que a força resultante das repulsões de **A** e **B** seja equilibrada pela força normal exercida pelo aro.

Observemos que o sistema encontra-se em um plano horizontal; portanto, a força peso não interfere no equilíbrio da esfera **C**.

$$\text{tg}\ \theta_C = \frac{F_{BC}}{F_{AC}}$$

Como: $F = K\dfrac{|Q\,q|}{d^2}$

temos:

$$\text{tg}\ \theta_C = \frac{K\dfrac{|Q_B\ q|}{d_{BC}^{\ 2}}}{K\dfrac{|Q_A\ q|}{d_{AC}^{\ 2}}} = \frac{|Q_B|\ d_{AC}^{\ 2}}{|Q_A|\ d_{BC}^{\ 2}} \qquad \text{(II)}$$

Igualando (I) e (II), temos:

$$\frac{d_{BC}}{d_{AC}} = \frac{|Q_B|\ d_{AC}^{\ 2}}{|Q_A|\ d_{BC}^{\ 2}} \Rightarrow 125 \cdot 10^{-6}\ d_{BC}^{\ 3} = 8 \cdot 10^{-6}\ d_{AC}^{\ 3}$$

$$125d_{BC}^{\ 3} = 8d_{BC}^{\ 3} \Rightarrow 5d_{BC} = 2d_{AC}$$

$$d_{AC} = 2{,}5d_{BC}$$

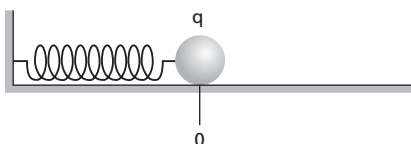
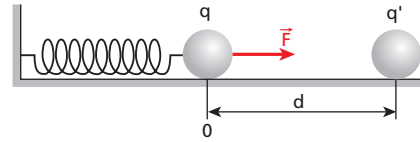
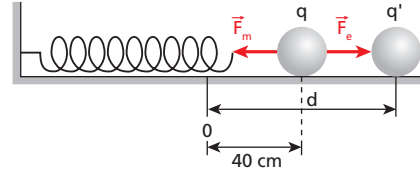
Assim, em (I), vem:

$$\text{tg}\ \theta_C = \frac{d_{BC}}{d_{AC}} = \frac{d_{BC}}{2{,}5\,d_{BC}}$$

$\boxed{\text{tg}\ \theta_C = 0{,}40}$

Resposta: 0,40

52.

Situação de equilíbrio inicial:

A carga q' é fixada a uma distância **d** da posição de equilíbrio inicial, desfazendo esse equilíbrio.

A carga **q** é levada para a nova posição de equilíbrio:

Portanto:

$$F_m = F_e$$

$$K\,x = K_0\ \frac{|q\,q'|}{(d - 0{,}40)^2}$$

Como, no MHS, temos:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

$$0{,}40\pi = 2\pi\sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{K}}$$

$$K = 0{,}25\ \text{N/m}$$

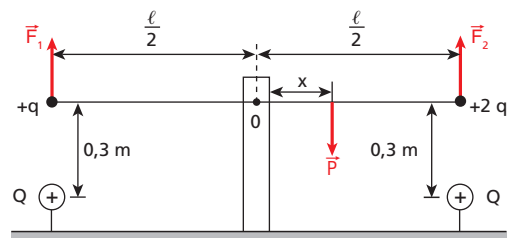
Assim:

$$0{,}25 \cdot 0{,}40 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-6}}{(d - 0{,}40)^2}$$

$\boxed{d \cong 0{,}59\ \text{m} \Rightarrow d \cong 59\ \text{cm}}$

Resposta: 59 cm

53.

a) Na situação de equilíbrio, temos:

Condição de equilíbrio:

$$\Sigma\vec{F} = \vec{0}$$

$$P = F_1 + F_2$$

Usando a Lei de Coulomb, temos:

$$F = K\ \frac{|Q\,d|}{d^2}$$

$$F_1 = 9 \cdot 10^9\ \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{(0{,}3)^2} \Rightarrow F_1 = 0{,}4\ \text{N}$$

$$F_2 = 9 \cdot 10^9\ \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0{,}3)^2} \Rightarrow F_2 = 0{,}8\ \text{N}$$

Portanto:

$$P = 0{,}4 + 0{,}8$$

$\boxed{P = 1{,}2\ \text{N}}$

b) A outra condição para ocorrer equilíbrio é:

$\Sigma M_0 = 0$

$F_1 \frac{\ell}{2} + P\,x = F_2 \frac{\ell}{2}$

$0{,}4 \frac{2}{2} + 1{,}2\,x = 0{,}8 \frac{2}{2}$

$1{,}2\,x = 0{,}4$

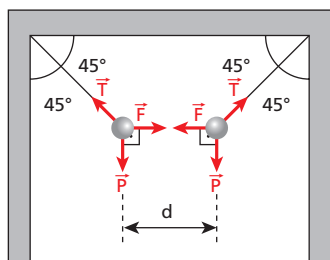
$x = \frac{1}{3}$ m

Nota:

- Para ocorrer equilíbrio, o peso **P** deve estar suspenso a $\frac{1}{3}$ m, do lado direito da barra.

Respostas: a) 1,2 N; b) $\frac{1}{3}$ m; do lado direito

54.

Situação descrita:

Para o equilíbrio das esferas devemos ter:

$$\begin{cases} T\,\text{sen}\,45° = P \\ T\cos 45° = F \end{cases}$$

Como sen 45° = cos 45°, vem:

$F = P$

$K\frac{|Q\,q|}{d^2} = m\,g$

$9 \cdot 10^9 \frac{1{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-6}}{d^2} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 10$

$9 \cdot 10^{-3} = 10^{-1}\,d^2$

$d^2 = 9 \cdot 10^{-2}$

$d = 3{,}0 \cdot 10^{-1}$ m

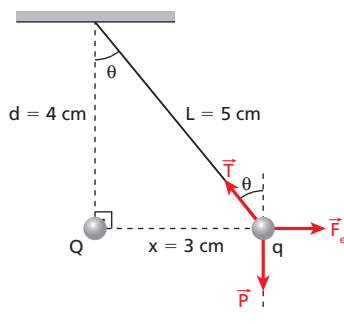
$\boxed{d = 30 \text{ cm}}$

Resposta: e

55.

$$\begin{cases} T\cos\theta = P \\ T\,\text{sen}\,\theta = F_e \end{cases}$$

$$\begin{cases} T\,\frac{4}{5} = m\,g \\ T\,\frac{3}{5} = F_e \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = \frac{5\,m\,g}{4} \\ T = \frac{5\,F_e}{3} \end{cases}$$

Assim:

$\frac{5\,F_e}{3} = \frac{5\,m\,g}{4}$

$K\frac{|Q\,q|}{d^2} = \frac{3}{4}\,m\,g$

$9 \cdot 10^9 \frac{10 \cdot 10^{-9}\,q}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = \frac{3}{4} \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 10$

$\frac{90}{9 \cdot 10^{-4}}\,q = 3 \cdot 10^{-3}$

$q = 3 \cdot 10^{-8}$ C

$q = 30 \cdot 10^{-9}$ C

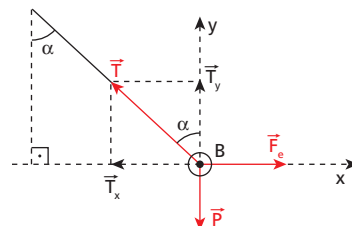
$\boxed{q = 30 \text{ nC}}$

Resposta: a

56.

a) Como está ocorrendo atração entre as esferas, elas estão eletrizadas com cargas de sinais opostos (uma positiva e a outra negativa).

b) Na esfera **B**, decompondo $\vec{T}$, temos:

$T_x = T\,\text{sen}\,\alpha$

$T_y = T\cos\alpha$

Portanto, sendo:

$T_x = F_e$

$T_y = P$

Dividindo membro a membro, temos:

$\frac{T\,\text{sen}\,\alpha}{T\cos\alpha} = \frac{F_e}{m\,g}$

$\text{tg}\,\alpha = \frac{F_e}{m\,g}$

$\frac{4}{3} = \frac{F_e}{0{,}1 \cdot 10} \Rightarrow F_e = \frac{4}{3}$ N

Usando a Lei de Coulomb, vem:

$F_e = K\frac{|Q\,q|}{d^2}$

$\frac{4}{3} = 9 \cdot 10^9 \frac{Q^2}{(0{,}1)^2}$

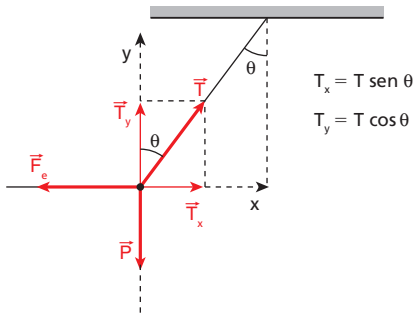
$Q^2 = \frac{0{,}04}{27 \cdot 10^9} = \frac{40 \cdot 10^{-12}}{27}$

$Q = \sqrt{\frac{40}{27}}\ 10^{-6}$ C

$\boxed{Q = \sqrt{\frac{40}{27}}\ \mu\text{C}}$

Respostas: a) Sinais opostos; b) $\sqrt{\frac{40}{27}}\ \mu$C

57.

Na situação inicial, decompondo-se $\vec{T}$, temos:

Na situação de equilíbrio:

$$\begin{cases} T_x = F_e \\ T_y = P \end{cases}$$

$$\frac{T \operatorname{sen} \theta}{T \cos \theta} = \frac{F_e}{m\,g} \Rightarrow F_e = m\,g\,\operatorname{tg}\theta$$

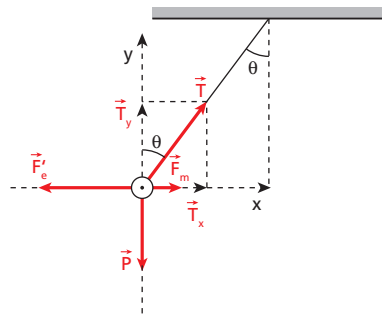
Usando a Lei de Coulomb, temos:

$$K\,\frac{|Q\,q|}{d^2} = m\,g\,\operatorname{tg}\theta$$

$$9 \cdot 10^9\,\frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0{,}20)^2} = 0{,}090 \cdot 10\,\operatorname{tg}\theta$$

$\operatorname{tg}\theta = 1 \Rightarrow \theta = 45°$

Na situação final, temos:

$T_x = T \operatorname{sen} \theta$

$T_y = T \cos \theta$

No equilíbrio, vem:

$$\begin{cases} T_x = F_e' - F_m \\ T_y = P \end{cases}$$

$$\frac{T \operatorname{sen} \theta}{T \cos \theta} = \frac{F_e' - F_m}{m\,g}$$

$m\,g\,\operatorname{tg}\theta = F_e' - F_m$

$0{,}090 \cdot 10 \cdot 1 =$

$$= 9 \cdot 10^9\,\frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{(0{,}20)^2} - k \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2}$$

$0{,}9 = 3{,}6 - 0{,}01\,k$

$0{,}01\,k = 2{,}7 \Rightarrow \boxed{k = 2{,}7 \cdot 10^2\ \text{N/m}}$

Resposta: $2{,}7 \cdot 10^2$ N/m

58.

No átomo de Bohr, o raio da órbita é dado por:

$R = n^2\,R_0$

em que $R_0 = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m (raio da órbita fundamental).

Para o estado fundamental n = 1; para o primeiro nível excitado n = 2.

Assim:

$R = 2^2\,R_0$

$R = 4\,R_0$

Como a força eletrostática faz o papel de força centrípeta, temos:

$F_e = F_{cp}$

$$K\,\frac{e\,e}{R^2} = \frac{m\,r^2}{R}$$

$$v^2 = \frac{K\,e^2}{m\,R}$$

Sendo **v** inversamente proporcional a $\sqrt{R}$, se $R = 4\,R_0$, temos:

$$v = \frac{v_0}{2} = 1{,}1 \cdot 10^6\ \text{m/s}$$

Portanto:

$$v = \frac{2\,\pi\,R}{T}$$

$$1{,}1 \cdot 10^6 = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 4 \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-11}}{T}$$

$T \cong 1{,}2 \cdot 10^{-15}$ s

Como o elétron tem vida de 10^{-8} s, no referido estado, vem:

$$n = \frac{\Delta T}{T} = \frac{10^{-8}}{1{,}2 \cdot 10^{-15}}$$

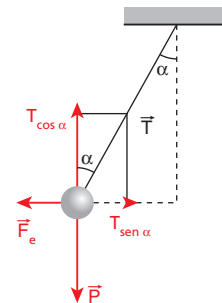
$\boxed{n \cong 8 \cdot 10^6\ \text{revoluções}}$

Resposta: d

59.

a) Com o passar do tempo haverá perda de carga elétrica para o ar que envolve as esferas. Isso provocará a aproximação, já que a força de repulsão entre elas irá diminuir.

Como as esferas têm mesmo peso e as forças de repulsão são iguais em módulo (Princípio da Ação-Reação), o ângulo α deverá ser igual para ambas.

b)

$$\begin{cases} T \operatorname{sen} \alpha = F_e \\ T \cos \alpha = P \end{cases}$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_e}{P} = \frac{F_e}{m\,g}$$

$F_e = m\,g\,\operatorname{tg}\alpha$

Lei de Coulomb:

$$F_e = K\,\frac{|Q\,Q|}{d^2}$$

Assim:

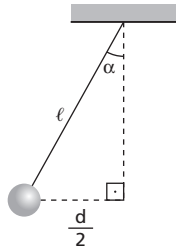
$$K\,\frac{|Q\,Q|}{d^2} = m\,g\,\operatorname{tg}\alpha$$

$$9 \cdot 10^9\,\frac{Q^2}{d^2} = 0{,}0048 \cdot 10 \cdot 0{,}75$$

$Q^2 = 4 \cdot 10^{-12}\,d^2$

$Q = 2 \cdot 10^{-6}\,d$

Mas:

$$\frac{d}{2} = \ell \text{ sen } \alpha$$

$d = 2 \cdot 0{,}090 \cdot 0{,}60 \text{ (m)}$

$d = 0{,}108 \text{ m}$

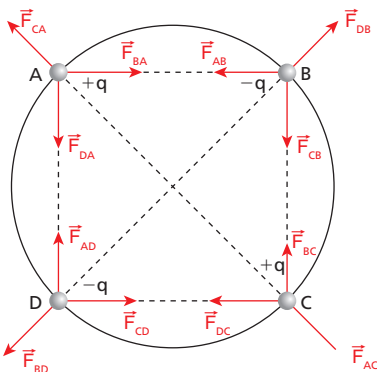
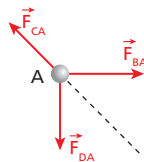
Portanto:

$Q = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}108 \text{ (C)}$

$$\boxed{Q = \pm 2{,}16 \cdot 10^{-7} \text{ C}}$$

Respostas: a) Perda de cargas elétricas para o ar. Os ângulos permanecem iguais; b) $\pm 2{,}16 \cdot 10^{-7}$ C

60.

a) Cada uma das quatro cargas elétricas está sujeita a três forças exercidas pelas outras cargas.

Devido à simetria, podemos observar que as forças resultantes em cada carga têm intensidades iguais. Por exemplo, considerando a carga nominada por **A**, temos:

Observe que:

$$|\vec{F}_{BA}| = |\vec{F}_{DA}| = K \frac{|q\,q|}{a^2}$$

$$|\vec{F}_{CA}| = K \frac{|q\,q|}{(a\sqrt{2})^2} = K \frac{|q\,q|}{a^2\,2}$$

Somando os vetores $\vec{F}_{BA}$ e $\vec{F}_{DA}$, temos:

$$S^2 = F_{BA}^{\;2} + F_{DA}^{\;2} = 2\,F_{BA}^{\;2}$$

$$S = \sqrt{2}\,F_{BA} \Rightarrow S = \sqrt{2}\,K \frac{|q\,q|}{a^2}$$

A força resultante de **A** é dada por:

$$F = S - F_{CA} = \sqrt{2}\,K \frac{|q\,q|}{a^2} - \frac{1}{2}\,K \frac{|q\,q|}{a^2}$$

$$F = \left(\sqrt{2} - \frac{1}{2}\right) K \frac{|q\,q|}{a^2}$$

Como: $K = \dfrac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0}$

Então: $$\boxed{F = \left(\frac{2\sqrt{2} - 1}{2}\right)\left(\frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2}\right)}$$

Essa resultante tem direção radial, passando pelo centro da circunferência.

b) A força resultante calculada no item **a** funciona, para cada carga, como força centrípeta.

$$F = F_{cp} = \frac{m\,v^2}{R}$$

Como o raio **R** da circunferência corresponde à metade da diagonal do quadrado, temos:

$$R = \frac{a\sqrt{2}}{2}$$

Assim:

$$F = \frac{m\,v^2}{\left(\frac{a\sqrt{2}}{2}\right)} = \frac{2\,m\,v^2}{a\sqrt{2}}$$

$$v^2 = \frac{a\sqrt{2}}{2\,m} F$$

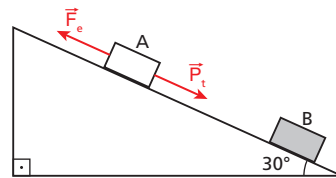
$$v^2 = \frac{a\sqrt{2}}{2\,m} \cdot \frac{(2\sqrt{2} - 1)}{2} \cdot \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a^2}$$

$$v^2 = \frac{4 - \sqrt{2}}{4m} \cdot \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0} \cdot \frac{q^2}{a}$$

$$\boxed{v = \frac{q}{4}\sqrt{\frac{4 - \sqrt{2}}{m\,a\,\pi\,\varepsilon_0}}}$$

Respostas:

a) $\left(\dfrac{2\sqrt{2} - 1}{2}\right)\left(\dfrac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0} \cdot \dfrac{q^2}{a^2}\right)$; direção radial; b) $\dfrac{q}{4}\sqrt{\dfrac{(4 - \sqrt{2})}{m\,a\,\pi\,e_0}}$

61.

a) No equilíbrio, temos:

$P_t = F_e$

$$m\,g \text{ sen } 30° = K \frac{|Q\,q|}{d^2}$$

$$20 \cdot 10^{-3} \cdot 10\,\frac{1}{2} = 9 \cdot 10^9\,\frac{20 \cdot 10^{-6}\,q}{(0{,}30)^2}$$

$0{,}10 = 2 \cdot 10^6\,q$

$$\boxed{q = 5{,}0 \cdot 10^{-8} \text{ C}}$$

b) Com atrito, temos:

$F_e = P_t + F_{at_{est}}$

$K \frac{|Q\,q|}{d^2} = m\,g \text{ sen } 30° + \mu\, m\, g \cos 30°$

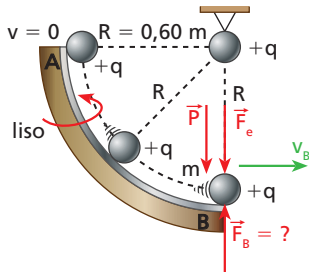
$9 \cdot 10^9 \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-8}}{d^2} =$

$= 0{,}020 \cdot 10\,(0{,}50 + 0{,}25 \cdot 0{,}86)$

$\frac{9 \cdot 10^{-3}}{d^2} = 0{,}143 \Rightarrow d^2 = \frac{0{,}009}{0{,}143}$

$d^2 \cong 0{,}063 \Rightarrow \boxed{d \cong 0{,}25 \text{ m} \Rightarrow d \cong 25 \text{ cm}}$

Respostas: a) $5{,}0 \cdot 10^{-8}$ C; b) 25 cm

62.

Em **B**, temos:

$F_B - (P + F_e) = F_{cp_B}$

$F_B - \left(mg + K\frac{q\,q}{R^2}\right) = \frac{m\,v_B^2}{R}$

Para o cálculo da velocidade v_B, podemos utilizar a conservação da energia mecânica.

$E_{M_A} = E_{M_B}$

$m\,g\,R = \frac{m\,v_B^2}{2} \Rightarrow g\,R = \frac{v_B^2}{2}$

$v_B^2 = 2\,g\,R$

Portanto:

$F_B - m\,g - K\frac{q^2}{R^2} = \frac{m \cdot 2\,g\,R}{R}$

$F_B = 3\,m\,g + K\frac{q^2}{R^2}$

$F_B = 3 \cdot 0{,}010 \cdot 10 + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0{,}60)^2}$

$F_B = 0{,}30 + 0{,}10$

$F_B = 0{,}40$ N

Resposta: 0,40 N

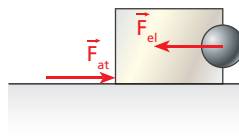
63.

O bloco será empurrado por uma força elétrica aplicada pelas cargas do bastão e será dificultado seu movimento pela força de atrito existente entre o bloco e a superfície horizontal. Na iminência de movimento, temos:

$Fat_{dest} = F_e$

$\mu_e \cdot N = K\frac{Q\,Q}{d_{mín}^2}$

$\mu_e\, m\, g = K\frac{Q^2}{d_{mín}^2}$

$d_{mín}^2 = \frac{K\,Q^2}{\mu_e\, m\, g}$

Portanto: $d_{mín}^2 = \frac{9 \cdot 10^9\,(4{,}0 \cdot 10^{-6})^2}{0{,}25 \cdot (200 + 25) \cdot 10}$

$d_{mín}^2 = 256 \cdot 10^{-6}$

$d_{mín} = 16 \cdot 10^{-3}$ m

$d_{mín} = 16$ mm

Resposta: 16 mm

64.

a) Lei de Coulomb:

$F_e = K\frac{|Q\,q|}{d^2}$

$F_e = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{(1{,}0 \cdot 10^{-10})^2}$

$\boxed{F_e = 2{,}3 \cdot 10^{-8} \text{ N}}$

b) A força eletrostática F_e funciona como força centrípeta:

$F_e = F_{cp}$

$2{,}3 \cdot 10^{-8} = \frac{m\,v^2}{R}$

$2{,}3 \cdot 10^{-8} = \frac{9{,}0 \cdot 10^{-31} \cdot v^2}{1{,}0 \cdot 10^{-10}}$

$v^2 \cong 2{,}6 \cdot 10^{12}$

$\boxed{v \cong 1{,}6 \cdot 10^6 \text{ m/s}}$

c) $F_r = F_e + F_g$

$F_r = 2{,}3 \cdot 10^{-8} + G\frac{Mm}{d^2}$

$F_r = 2{,}3 \cdot 10^{-8} + 6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{9{,}0 \cdot 10^{-31} \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-27}}{(1{,}0 \cdot 10^{-10})^2}$

$F_r = 2{,}3 \cdot 10^{-8} + 1{,}0 \cdot 10^{-49}$

Observe que a interação gravitacional entre o próton e o elétron é desprezível quando comparada com a interação eletrostática. Assim:

$\boxed{F_r = F_e = 2{,}3 \cdot 10^{-8} \text{ N}}$

d) Do item **c**, concluímos que:

$F_{cp} = F_e$

$\frac{m\,v^2}{R} = K\frac{|Q\,q|}{d^2}$

$\boxed{v \cong 1{,}6 \cdot 10^6 \text{ m/s}}$

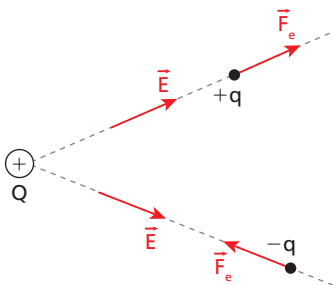
(Veja item **b**.)

Respostas: a) $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ N; b) $1{,}6 \cdot 10^6$ m/s; c) $2{,}3 \cdot 10^{-8}$ N; d) $1{,}6 \cdot 10^6$ m/s

Tópico 2 – Campo elétrico

Página 37

1.

I) Verdadeira.

A força de atração ou repulsão que aparece na carga de prova tem sempre a mesma direção do vetor campo elétrico. O sentido é que pode não coincidir.

II) Verdadeira.

Observe a figura do primeiro item.

III) Falsa.

Campo gerado por uma carga pontual **Q**.

$$E = K\frac{|Q|}{d^2}$$

IV) Verdadeira.

$F = |q| E$

Assim: $E = \frac{F}{|q|}$ (N/C)

Resposta: c

2.

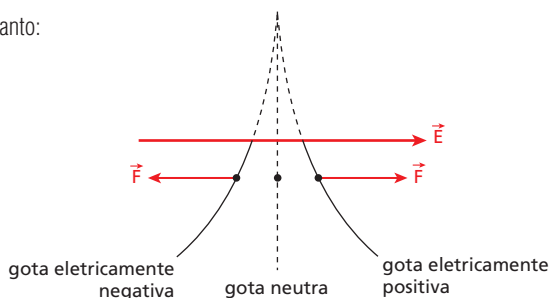
Sabemos que:

$\vec{F} = q\,\vec{E}$

Assim:

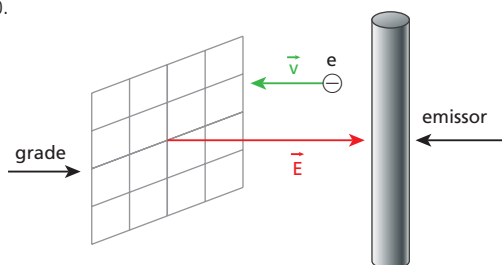
1) Se **q** (+), temos $\vec{F}$ e $\vec{E}$ com a mesma direção e mesmo sentido.

2) Se **q** (−), temos $\vec{F}$ e $\vec{E}$ com a mesma direção e sentidos opostos.

Portanto:

Resposta: a

3.

O elétron se move no sentido oposto ao das linhas de força de um campo elétrico.

Assim:

Resposta: a

4.

A carga elétrica geradora de campo em **A** e **B** é positiva, pois os vetores $\vec{E}_A$ e $\vec{E}_B$ são de "afastamento" em relação a ela.

A carga **q** é negativa, pois os vetores $\vec{E}_A$ e $\vec{F}$ apresentam sentidos opostos.

A carga **q'** é positiva, pois $\vec{E}_B$ e $\vec{F}'$ apresentam o mesmo sentido.

Assim: $Q > 0$; $q < 0$; $q' > 0$

Resposta: $Q > 0$, $q < 0$ e $q' > 0$

5.

$F = |q| E$

$F = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^3$ (N)

$\boxed{F = 8 \cdot 10^{-3}\ \text{N}}$

Resposta: $8 \cdot 10^{-3}$ N

7.

a) O cálculo da carga **Q** é feito por meio da relação:

$$E = K\,\frac{|Q|}{d^2}$$

Assim: $1{,}8 \cdot 10^4 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q}{2^2} \Rightarrow Q = +8 \cdot 10^{-6}$ C

$\boxed{Q = +8\ \mu\text{C}}$

b) No ponto **B**, a intensidade do campo elétrico é dada por:

$$E = K\,\frac{|Q|}{d^2} \Rightarrow E_B = 9 \cdot 10^9\ \frac{8 \cdot 10^{-6}}{(0{,}30)^2}$$

$\boxed{E_B = 8 \cdot 10^5\ \text{N/C}}$

Respostas: a) $+8\ \mu$C; b) $8 \cdot 10^5$ N/C

8.

Expressão do cálculo da intensidade do campo elétrico gerado por uma partícula eletrizada.

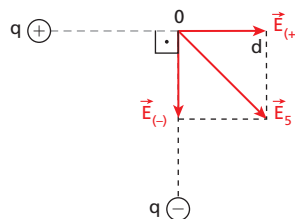
$$E = K\frac{|Q|}{d^2}$$

Assim: $E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0{,}16}{(2 \cdot 10^{-2})^2}$ (N/C)

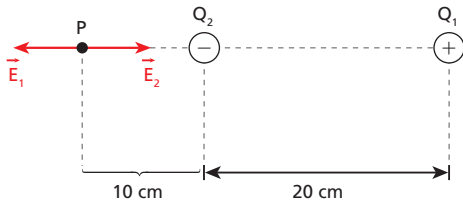
$\boxed{E = 3{,}6 \cdot 10^{12}\ \text{N/C}}$

Resposta: d

10.

Em **O**, temos:

Assim, no ponto **O** o vetor $\vec{E}_5$ é aquele que melhor representa o campo elétrico resultante.

Resposta: $\vec{E}_5$

11.

$$E = K\frac{|Q|}{d^2}$$

Assim:

$$E_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{18 \cdot 10^{-6}}{(0{,}30)^2} \Rightarrow E_1 = 18 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6}}{(0{,}10)^2} \Rightarrow E_2 = 72 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

Portanto:

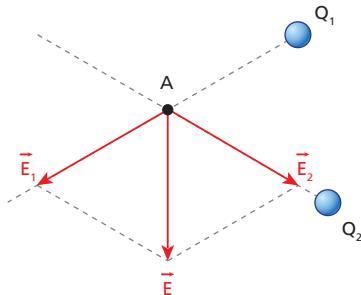
$E_p = E_2 - E_1 = 72 \cdot 10^5 - 18 \cdot 10^5$ (N/C)

$$\boxed{E_p = 5{,}4 \cdot 10^6 \text{ N/C}}$$

Direção $\rightarrow Q_2Q_1$
Sentido $\rightarrow$ de Q_2 para Q_1

Resposta: Intensidade: $5{,}4 \cdot 10^6$ N/C
Direção: Q_2Q_1
Sentido: de Q_2 para Q_1

12.

Decompondo o vetor $\vec{\mathbf{E}}$, temos:

Sendo $\vec{E}_1$ de "afastamento" em relação à carga Q_1, concluímos que:
$Q_1 > 0$
Sendo $\vec{E}_2$ de "aproximação" em relação à carga Q_2, concluímos que:
$Q_2 < 0$
Na carga de prova **q**, colocada em **A**, a força $\vec{\mathbf{F}}$ tem sentido oposto ao do campo $\vec{\mathbf{E}}$. Daí, concluímos que:
$q < 0$

Resposta: d

13.

Em um ponto intermediário e pertencente ao segmento que une as cargas, o campo elétrico resultante é nulo.
Assim:
$E_1 = E_2$

$$K\frac{Q}{d_1^{\,2}} = K\frac{4Q}{d_2^{\,2}} \Rightarrow d_2 = 2d_1$$

A distância entre as cargas vale:
$d_1 + d_2 = 9$ (em metros)

Portanto:
$d_1 + 2d_1 = 9$
$d_1 = 3$ m
$d_2 = 2 \cdot d_1 = 2 \cdot 3$ m
$d_2 = 6$ m
O ponto do segmento dado, que dista 3 m da carga $+Q$ e 6 m da carga $+4Q$, é o $x = 6$ m.

Resposta: d

14.

a) Como as linhas de força saem da carga q_1, ela é positiva. Como as linhas de força chegam na carga q_2, ela é negativa.

$$q_1\,(+) \quad e \quad q_2\,(-)$$

b) Não. A força é de atração, pois as duas cargas possuem sinais opostos.

Respostas: a) q_1 (positiva); q_2 (negativa); b) Não; atração

15.

I) Falso.

$$E = K\frac{|Q|}{d^2}$$

Observe que a intensidade do campo elétrico depende do meio, da carga e da posição em relação à carga geradora.
II) Verdadeiro.
O campo elétrico gerado por uma única carga pode produzir atração ou repulsão em outra carga.
III) Falso.
O campo elétrico resultante é a soma vetorial dos campos criados por cada carga individualmente.

Resposta: b

16.

a) Como o próton possui carga positiva, a força aplicada terá mesma direção e sentido do campo elétrico. O elétron, por possuir carga negativa, estará sob a ação de uma força de mesma direção e sentido oposto ao do campo elétrico.
Para o cálculo do módulo da força, usamos a relação:
$F = |q|\,E$
Como o próton e o elétron possuem cargas de mesmo módulo, podemos afirmar que as forças aplicadas pelo campo elétrico apresentam a mesma intensidade. Assim, as forças no próton e no elétron possuem mesmo módulo, mesma direção e sentidos opostos.

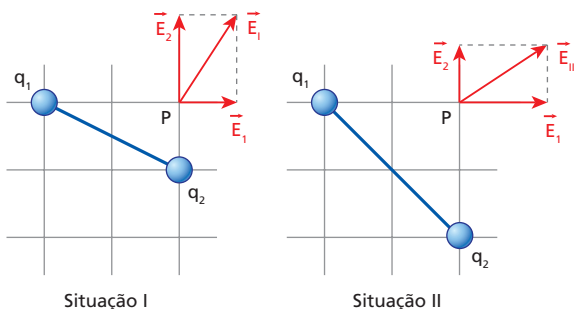
b) A aceleração apresenta sempre a mesma direção e sentido da força que a originou. Assim, a aceleração no próton tem mesma direção e sentido do vetor campo elétrico. No elétron, a aceleração tem mesma direção e sentido oposto ao do vetor campo elétrico.

c) A intensidade da força é determinada pela 2ª Lei de Newton:
$F = m\,a$
Como a massa do próton é, aproximadamente, 1 800 vezes a massa do elétron, a aceleração do próton é cerca de 1 800 vezes menor do que a aceleração do elétron.

$$F_p = F_e \Rightarrow m_p\,a_p = m_e\,a_e$$

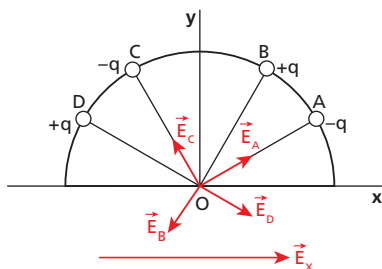
$$1\,800\, m_e\,a_p = m_e\,a_e \Rightarrow a_p = \frac{a_e}{1\,800}$$

Respostas: a) Mesmo módulo, mesma direção e sentidos opostos;
b) Próton – mesma direção e mesmo sentido;
Elétron – mesma direção e sentido oposto;
c) A aceleração no elétron (1 836 vezes maior do que no próton).

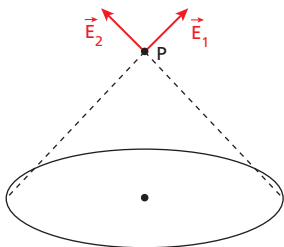
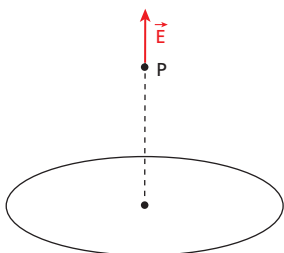
17.

Podemos observar que as direções dos vetores $\vec{E}_I$ e $\vec{E}_{II}$ são diferentes. Seus módulos são iguais.

$$|\vec{E}_I| = |\vec{E}_{II}|$$

Resposta: b

18.

Decompondo esses vetores segundo os eixos **x** e **y**, notamos que no eixo **y** a resultante é nula. No eixo **x** a resultante é diferente de zero.

Resposta: a

19. A carga $+q$ gera, em **P**, campo de "afastamento". As distâncias de cada porção Δq de carga até o ponto **P** são as mesmas.
Assim, em **P**, temos infinitos vetores campo elétrico:

Devido à simetria na distribuição desses vetores, a resultante $\vec{E}$ terá direção vertical e sentido para cima.

Resposta: e

20.

a) $E_M = E_1 - E_2 \Rightarrow E_M = K \dfrac{|Q_1|}{d_2} - K \dfrac{|Q_2|}{d_2}$

$$E_M = \frac{9 \cdot 10^9}{(0{,}10)^2} (9{,}0 \cdot 10^{-9} - 4{,}0 \cdot 10^{-9})$$

$$E_M = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-9}}{10^{-2}} \Rightarrow \boxed{E_M = 4{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{N/C}}$$

b) $F = |q|E \Rightarrow F = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 4{,}5 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{F = 9{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{N}}$

c) A condição é que, nesse ponto, o campo elétrico resultante seja nulo.
$E_1 = E_2$

$$K \frac{|Q_1|}{x^2} = K \frac{|Q_2|}{(0{,}20 - x)^2} \Rightarrow \frac{9{,}0 \cdot 10^{-9}}{x^2} = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-9}}{(0{,}20 - x)^2}$$

$4{,}0\, x^2 = 9{,}0\, (0{,}20 - x)^2$

$2{,}0\, x = 3{,}0\, (0{,}20 - x) \Rightarrow 2{,}0\, x = 0{,}60 - 3{,}0\, x$

$5{,}0\, x = 0{,}60 \Rightarrow \boxed{x = 0{,}12\ \text{m} = 12\ \text{cm}}$

(12 cm de Q_1)

Respostas: a) $4{,}5 \cdot 10^3$ N/C; b) $9{,}0 \cdot 10^{-3}$ N; c) 12 cm de Q_1 e 8,0 cm de Q_2

21.

Cálculo do campo resultante no local onde foi colocada a terceira partícula.

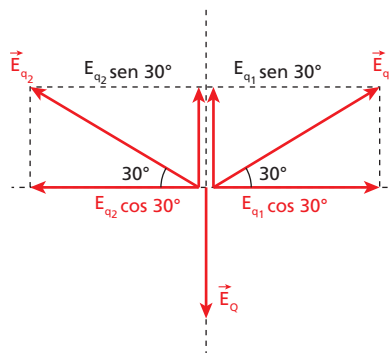
$$E_M = E_1 + E_2 \Rightarrow E_M = \frac{K\,|Q_1|}{d_1^{\,2}} + K\,\frac{|Q_2|}{d_2^{\,2}}$$

$$E_M = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2{,}0 \cdot 10^{-6}}{(1{,}0)^2} \Rightarrow E_M = 3{,}6 \cdot 10^4\ \text{N/C}$$

Como: $F = |q|\,E \Rightarrow m\,a = |q|\,E_M$

Então: $1{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot a = 1{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot 3{,}6 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{a = 20\ \text{m/s}^2}$

Resposta: 20 m/s²

23. Em **A**, queremos que $E_A = 0$:

Mas: $\vec{E}_A = \vec{E}_{q_1} + \vec{E}_{q_2} + \vec{E}_Q$
Assim:
$E_Q = E_{q_1} \text{ sen } 30° + E_{q_2} \text{ sen } 30°$
$E_Q = 2\, E_{q_1} \text{ sen } 30°$

Como: $E = K \dfrac{Q}{d^2}$

Temos:

$$K \frac{Q}{y^2} = 2 \cdot K \cdot \frac{q}{L^2} \cdot \frac{1}{2}$$

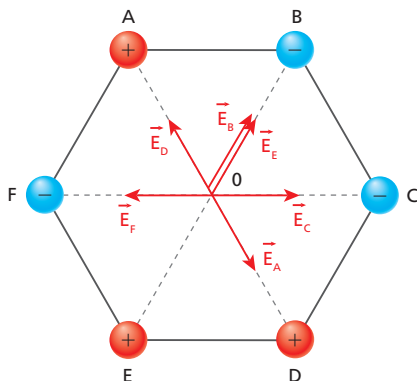
$$\frac{Q}{y^2} = \frac{q}{L^2}$$

$$\frac{8 \cdot 10^{-6}}{y^2} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{3^2}$$

$$y^2 = 36$$

$$\boxed{y = 6 \text{ cm}}$$

Resposta: 6 cm

24.

Como:

$$|\vec{E}_A| = |\vec{E}_B| = |\vec{E}_C| = |\vec{E}_D| = |\vec{E}_E| = |\vec{E}_F|$$

Temos:

$$E_0 = 2E_B = 2 \cdot K \cdot \frac{|Q|}{r^2}$$

Ainda: $r = L$

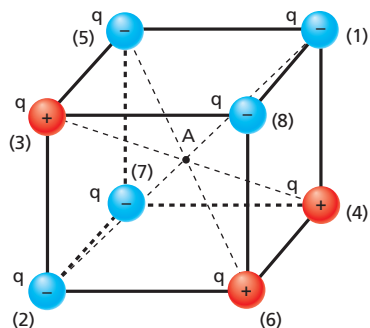
Assim: $E_0 = 2 \cdot 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{5{,}0 \cdot 10^{-5}}{(0{,}30)^2}$

$$\boxed{E_0 = 1{,}0 \cdot 10^7 \text{ N/C}}$$

A orientação do vetor E_0 (resultante) é de **E** para **B**.

Resposta: e

25.

Nominando as cargas, temos:

Na figura, notamos que as cargas 1 e 2, 3 e 4, 7 e 8 produzem campo resultante nulo no ponto de encontro das diagonais do cubo.

Apenas as cargas 5 e 6 produzem campo elétrico resultante **não nulo** no encontro das diagonais.

Assim:

$$E_E = E_5 + E_6$$

$$E_E = 2 \cdot K \cdot \frac{|q|}{x^2}$$

Mas **x** é metade da diagonal do cubo:

$$x = \frac{1}{2}(\ell\sqrt{3})$$

Portanto:

$$E_E = \frac{2\,K\,q}{\left(\frac{\ell\sqrt{3}}{2}\right)^2} \Rightarrow E_E = \frac{8\,K\,q}{3\,\ell^2}$$

e a força aplicada na carga 2q, colocada em **A**, vale:

$$F = |2q|\ E \Rightarrow F = 2\,q\,\frac{8}{3} \cdot \frac{K\,q}{\ell^2} \Rightarrow \boxed{F = \frac{16k\,q^2}{3\ell^2}}$$

Resposta: c

26.

a) Usando a equação para o cálculo do campo elétrico, temos:

$$E = K \frac{|Q|}{d^2}$$

Assim:

$$E_A = 1{,}0 \cdot 10^{10} \frac{7{,}2 \cdot 10^{-6}}{(3{,}0)^2} \Rightarrow E_A = 8{,}0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_B = 1{,}0 \cdot 10^{10} \frac{9{,}6 \cdot 10^{-6}}{(4{,}0)^2} \Rightarrow E_B = 6{,}0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$$

Como os vetores E_A e E_B são perpendiculares, aplicando Pitágoras, vem:

$$E_C^2 = E_A^2 + E_B^2 \Rightarrow E_C^2 = (8{,}0 \cdot 10^3)^2 + (6{,}0 \cdot 10^3)^2$$

$$\boxed{E_C = 1{,}0 \cdot 10^4 \text{ N/C}}$$

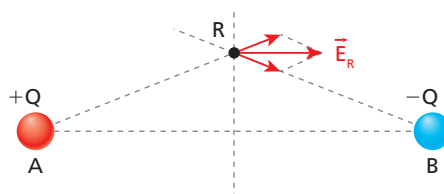
b) Cálculo do módulo da força resultante:

$$F = |q|\,E \Rightarrow F = 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^4 \text{ (N)}$$

$$\boxed{F = 2{,}0 \cdot 10^{-2} \text{ N}}$$

Respostas: a) $1{,}0 \cdot 10^4$ N/C; b) $2{,}0 \cdot 10^{-2}$ N

27.

a) Após a transferência dos elétrons da esfera **A** para a esfera **B**, ambos estarão eletrizados com cargas de mesmo valor, sendo a de **A** positiva e a de **B** negativa.

A direção de $\vec{E}_R$ é horizontal, a mesma de AB.

b) Em **P**, ponto médio do segmento AB, temos:

$$E_p = E_A + E_B$$

$$E_p = 2\,K\,\frac{|Q|}{d^2}$$

Como:

$|Q| = n\,e = 5{,}0 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$

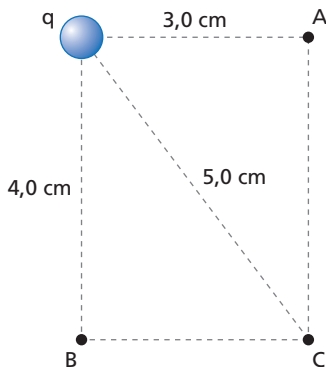
$|Q| = 8{,}0 \cdot 10^{-13}$ C

vem:

$$E_p = 2 \cdot 9 \cdot 10^9 \, \frac{8{,}0 \cdot 10^{-13}}{(0{,}10)^2} \, (N/C)$$

$$\boxed{E_p \cong 1{,}4 \text{ N/C}}$$

Respostas: a) A direção é a mesma da reta AB; b) 1,4 N/C

28.

Como: $E_C = E$

Temos:

$$E = K \frac{|q|}{(5 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow 25 \cdot 10^{-4} \cdot E = K\,|q|$$

Em **A**, temos:

$$E_A = K \frac{|q|}{(3{,}0 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow E_A = \frac{25 \cdot 10^{-4}\,E}{9{,}0 \cdot 10^{-4}}$$

$$\boxed{E_A = \frac{25}{9}\,E}$$

Em **B**, temos:

$$E_B = K \frac{|q|}{(4{,}0 \cdot 10^{-2})^2} \Rightarrow E_B = \frac{25 \cdot 10^{-4}\,E}{16 \cdot 10^{-4}}$$

$$\boxed{E_B = \frac{25}{16}\,E}$$

Resposta: e

Página 50

30.

$$\sigma_m = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4\,\pi\,R^2} \Rightarrow -5{,}00 \cdot 10^{-6} = \frac{Q}{4 \cdot 3{,}14 \cdot (0{,}50)^2}$$

$$\boxed{Q = -15{,}7 \cdot 10^{-6} \text{ C}}$$

Resposta: $-15{,}7 \cdot 10^{-6}$ C

31.

$$\sigma_m = \frac{Q}{A} = \frac{n \cdot e}{A} \Rightarrow 6{,}0 \cdot 10^{-6} = \frac{n \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{0{,}80}$$

$$\boxed{n = 3{,}0 \cdot 10^{13} \text{ elétrons}}$$

Resposta: $3{,}0 \cdot 10^{13}$ elétrons

32.

a) Falsa.

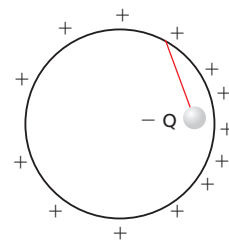
A carga induzida na esfera maior estará distribuída pela superfície externa, havendo maior concentração próximo da esfera menor.

b) Verdadeira.

c) Falsa.

No interior da esfera maior, o campo elétrico não será nulo, já que lá existe a carga $-Q$ da esfera menor. Na parte externa, o campo elétrico também não será nulo, devido à carga $-Q$ e à carga $+Q$ (induzida na superfície externa da esfera maior).

d) Falsa.

Se o fio é condutor, a carga $-Q$ irá para a superfície externa da esfera maior, proporcionando um campo elétrico nulo na parte interna da esfera.

Resposta: b

33.

A densidade superficial média de cargas é dada pela relação:

$$\sigma_m = \frac{Q}{A}$$

sendo **A** a área da superfície em que a carga elétrica **Q** está distribuída. Assim, sabendo que a superfície externa, para a esfera, tem área dada por $A = 4\,\pi\,r^2$, em que **r** é o raio, segue-se:

$$\sigma_m = \frac{+6{,}28\ \mu\text{ C}}{4\,\pi\,(0{,}200)^2\ \text{m}^2} = \frac{+6{,}28\ \mu\text{ C}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}04\ \text{m}^2}$$

$$\boxed{\sigma_m = +12{,}5\ \mu\text{C/m}^2}$$

Resposta: $+12{,}5\ \mu$C/m²

34.

Densidade superficial de cargas: $\sigma_m = \dfrac{Q}{A}$

Como: $\sigma_1 = \sigma_2$

Temos: $$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{4\,\pi\,R^2} = \frac{Q_2}{4\,\pi\,(2R)^2}$$

$$\boxed{Q_2 = 4Q}$$

Resposta: 4Q

35.

A intensidade do campo elétrico, nas vizinhanças da superfície externa de um condutor esférico, é determinada por:

$$E = K\,\frac{|Q|}{R^2}$$

Assim: $E = K\,\dfrac{n\,e}{R^2}$

$$1{,}0 \cdot 10^3 = 1{,}0 \cdot 10^{10}\,\frac{4{,}0 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{R^2} \Rightarrow R^2 = 0{,}64$$

$$\boxed{R = 0{,}80 \text{ m}}$$

Resposta: 0,80 m

36.

A concentração de cargas elétricas é maior onde o raio de curvatura do condutor é menor (poder das pontas).

Assim, no ponto **E**, que é um ponto externo, temos concentração maior de cargas.

Resposta: Na região **E**.

37.

Em um condutor eletrizado as cargas se espalham na superfície externa, concentrando-se mais nas regiões de menor raio de curvatura, nas pontas. Assim, nas pontas vamos encontrar mais cargas e maior densidade superficial de cargas.

Resposta: a

38.

A gaiola de Faraday é um dispositivo metálico que, ao revestir uma região do espaço, evita que campos elétricos variáveis possam penetrar nesses locais.

Dos exemplos citados na questão, apenas o bloqueio dos telefones celulares corresponde a uma situação em que a gaiola de Faraday irá funcionar, evitando que ligações possam ser completadas.

Resposta: e

39.

A carroceria metálica funciona como uma gaiola de Faraday, blindando o interior do ônibus, evitando que os passageiros sofram danos físicos.

Resposta: d

40.

A descarga elétrica irá eletrizar o avião. Porém, como sua fuselagem é metálica (boa condutora), essas cargas irão se distribuir pela superfície externa, não causando danos aos passageiros. A fuselagem atua como blindagem para o seu conteúdo. Nas extremidades das asas e na parte traseira do avião encontramos pontas metálicas por onde irão fluir essas cargas, transferindo-se para o ar.

Resposta: d

41.

I. Correta.
II. Correta.
III. Correta.

Resposta: Todas.

42.

A principal característica de um CEU (campo elétrico uniforme) é que uma carga de prova está sujeita a uma força de mesma intensidade em qualquer ponto desse campo.

Resposta: b

43. Em todos os pontos de um CEU, vale:

$F = |q| E$

Assim:

$F = 1{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot 3{,}6 \cdot 10^{3} \Rightarrow \boxed{F = 3{,}6 \cdot 10^{-2}\ N}$

Resposta: $3{,}6 \cdot 10^{-2}$ N

45.

Nas vizinhanças da superfície externa da esfera condutora, o campo elétrico é determinado por:

$$E = K \frac{|Q|}{R^2}$$

onde **R** é o raio da esfera.

Assim:

$$1{,}0 \cdot 10^{4} = 1{,}0 \cdot 10^{10} \frac{n \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{(0{,}40)^2}$$

$$0{,}16 \cdot 10^{4} = 1{,}6 \cdot 10^{-9}\, n \Rightarrow 1{,}6 \cdot 10^{3} = 1{,}6\ 10^{-9}\, n$$

$$\boxed{n = 1{,}0 \cdot 10^{12} \text{ elétrons}}$$

Resposta: $1{,}0 \cdot 10^{12}$ elétrons

46.

a) A intensidade do campo elétrico no interior do balão é nula, com raio R ou 2R.

$$\boxed{\vec{E}_{int} = \vec{0}}$$

b) Como a distribuição de cargas é uniforme na superfície externa, podemos considerar toda a carga concentrada no centro do balão. Assim, sendo o ponto 4 R externo, a intensidade do campo é dada por:

$$E = K \frac{|Q|}{d^2}$$

$$E = K \frac{Q}{(4R)^2} \Rightarrow E = \frac{K\,Q}{16R^2}$$

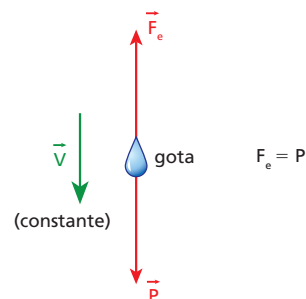
Esse valor é o mínimo com o balão de raio R ou 2R.

Assim: $\boxed{\dfrac{E_R}{E_{2R}} = 1}$

Respostas: a) Zero; b) 1

47.

Se a gota cai com velocidade constante (MRU), de acordo com a 1ª Lei de Newton, a resultante das forças que nela agem é nula.

Como a força elétrica está voltada para cima, a placa inferior repele a gota e a placa superior a atrai. O sinal da carga da gota é negativo.

Resposta: c

48. Na condição de equilíbrio da gota, temos:

$\vec{F}_e$

$\vec{P}$

$F_e = P$

$|q| E = m\,g$

$$E = \frac{m\,g}{|q|} = \frac{2{,}4 \cdot 10^{-13}}{4{,}8 \cdot 10^{-19}}\ (N/C) \Rightarrow \boxed{E = 5{,}0 \cdot 10^{5}\ N/C}$$

Nas cargas positivas, a força elétrica tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor campo elétrico. Assim, o campo elétrico é orientado para cima.

Resposta: a

49.

a) Se o campo elétrico é orientado para baixo, o sinal da carga deve ser negativo. A força elétrica em cargas negativas tem sentido oposto ao do corpo elétrico.

$F_e = P \Rightarrow |q| E = m\,g$

$$|q| = \frac{m\,g}{E} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{100}$$

$|q| = 5{,}0 \cdot 10^{-3}$ C

Assim: $\boxed{q = -5{,}0 \cdot 10^{-3}\ C}$

b) Devido ao poder das pontas. O campo elétrico é mais intenso nas regiões pontiagudas do condutor, o que facilita as descargas elétricas por esses pontos.

Respostas: a) $-5{,}0 \cdot 10^{-3}$ C;
b) Poder das pontas. Campo elétrico mais intenso nas regiões pontiagudas.

50.

O para-raios possui pontos metálicos em suas extremidades.

Cargas elétricas existentes nas nuvens provocam acúmulo de cargas nas pontas do para-raios (por indução).

Assim, o funcionamento do para-raios utiliza o poder das pontas e a indução eletrostática.

Resposta: e

51.

O campo elétrico gerado entre as placas produzirá nas partículas eletrizadas uma força. Essa força, ou parte dela, será perpendicular ao movimento, fazendo a função de força centrípeta.

$$F_e = F_{cp} = \frac{m\,v^2}{R}$$

Como as velocidades são iguais, a partícula de menor massa (**m**) realizará uma trajetória curva de menor raio (**R**).

Assim:

Partícula I $\longrightarrow$ elétron (massa menor, menor raio de curvatura)

Partícula II $\longrightarrow$ nêutron (não sofre a ação do campo elétrico)

Partícula III $\longrightarrow$ próton (massa maior, maior raio de curvatura)

Resposta: d

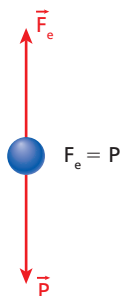
52.

Condição de repouso

Assim: $|q|\,E = m\,g$

$$m = \frac{|q|\,E}{g} = \frac{5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 4{,}0 \cdot 10^3}{10}$$

$m = 2{,}0 \cdot 10^{-3}$ kg

$\boxed{m = 2{,}0\ \text{g}}$

Resposta: 2,0 g

53.

a) Falsa.

$$F = |q|\,E \Rightarrow m\,a = q\,E \Rightarrow a = \frac{q\,E}{m}$$

b) Falsa.

A força aplicada na partícula tem a direção do campo, perpendicular às placas.

c) Verdadeira.

Como o campo elétrico é conservativo, vale o teorema da energia cinética (TEC):

$\tau = \Delta E_C$

$F_d = E_{C_f} - E_{C_i}$

$q\,E\,d = E_{C_f}$

A partícula parte do repouso e $E_{C_i} = 0$

$\boxed{E_c = q\,E\,d}$

d) Falsa.

O movimento de partícula é acelerado.

e) Falsa.

A força elétrica tem a mesma direção do campo elétrico.

Resposta: c

54.

1) No movimento uniformemente variado (MUV) executado pelo elétron, vale:

$$\Delta S = V_0 t + \frac{\gamma \cdot t^2}{2}$$

$$0{,}10 = 0 + \frac{\gamma \cdot (5 \cdot 10^{-8})^2}{2}$$

$\gamma = 8 \cdot 10^{13}$ m/s^2

2) A força elétrica acelera o elétron, assim:

$F_e = m\,a$

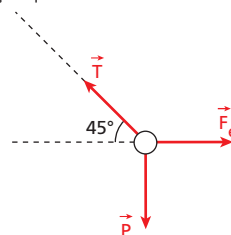
$q\,E = m\,a$

$1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot E = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 8 \cdot 10^{13}$

$\boxed{E = 4{,}5 \cdot 10^2\ \text{N/C}}$

Resposta: $4{,}5 \cdot 10^2$ N/C

56.

Representação das forças que atuam na esfera:

Como o ângulo de inclinação é 45°, temos: $F_e = P$.

Assim:

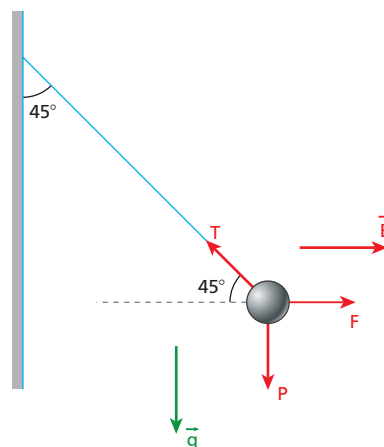
$$|q|\,E = P \Rightarrow |q|\frac{|\sigma|}{2\,\epsilon} = P$$

$$|\sigma| = \frac{P \cdot 2 \cdot \epsilon}{|q|} = \frac{5{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}}{0{,}20 \cdot 10^{-6}}$$

$\boxed{|\sigma| \cong 4{,}4\ \mu\text{C/m}^2}$

Resposta: 4,4 μC/m^2

57.

Ao ficar sob a ação dos dois campos, o elétrico e o gravitacional, a pequena esfera assumirá a configuração:

em que:

$P = m\,g = 1{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 10$ (N)

$P = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$ N

$$F = |q|\,E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

Na figura, temos:

$T_x = T_y$

$T_x = F$

$T_y = P$

Assim: $F = P \Rightarrow |q| \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0} = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$

$$1{,}0 \cdot 10^{-6} \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0} = 1{,}0 \cdot 10^{-2}$$

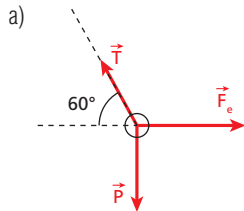
$$\boxed{\dfrac{\sigma}{\varepsilon_0} = 1{,}0 \cdot 10^{4} \dfrac{V}{m}}$$

Resposta: c

58.

a)

b) $\div \begin{cases} T \text{ sen } 60° = P \\ T \cos 60° = F_e \end{cases}$

$$\dfrac{\text{sen } 60°}{\cos 60°} = \dfrac{P}{F_e}$$

$$F_e = \dfrac{P}{\text{tg } 60°} = \dfrac{0{,}03}{\sqrt{3}} \Rightarrow \boxed{F_e = \sqrt{3} \cdot 10^{-2} \text{ N}}$$

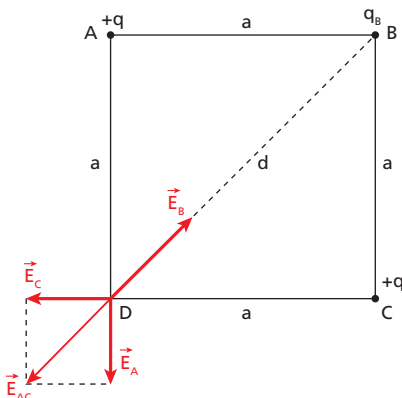
c) $F_e = |q|\,E$

$$\sqrt{3} \cdot 10^{-2} = 5{,}0 \cdot 10^{-6}\ E$$

$$\boxed{E = 2\sqrt{3} \cdot 10^{3} \text{ N/C}}$$

Respostas: a) Veja o esquema na resolução; b) $\sqrt{3} \cdot 10^{-2}$ N;
c) $2\sqrt{3} \cdot 10^{3}$ N/C

59.

O campo elétrico em **D** é representado por:

$$|\vec{E}_A| = |\vec{E}_C| = K \dfrac{q}{a^2}$$

Usando-se Pitágoras:

$$E_{AC}^2 = E_A^2 + E_C^2$$

$$E_{AC}^2 = 2\left(K \cdot \dfrac{q}{a^2}\right)^2$$

$$E_{AC} = \sqrt{2} K \cdot \dfrac{q}{a^2}$$

Como:

$|E_{AC}| = |E_B|$

temos:

$$\sqrt{2} \dfrac{K \cdot q}{a^2} = K \dfrac{|q_B|}{d^2}$$

Mas:

$d = a\sqrt{2}$ (diagonal do quadrado)

Então:

$$\sqrt{2} \dfrac{K\,q}{a^2} = K \dfrac{|q_B|}{(a\sqrt{2})^2} \Rightarrow \sqrt{2} \dfrac{q}{a^2} = \dfrac{|q_B|}{a^2\ 2}$$

$$\boxed{|q_B| = 2\sqrt{2}\,q}$$

Sendo $\vec{E}_B$ um vetor campo de "aproximação" em relação à carga q_B, esta deve ter sinal negativo.

Assim:

$q_B = -2\sqrt{2}\,q$

Resposta: e

60.

Como campo elétrico é grandeza vetorial, em **P** devemos ter dois vetores de mesma direção, mesmo módulo e sentidos opostos. Dessa forma, podemos afirmar que as cargas **Q** e **q** possuem sinais opostos.

$E_Q = E_q$

$$K \dfrac{|Q|}{(x + d)^2} = K \dfrac{|q|}{x^2}$$

$$|Q| \cdot x^2 = |q| \cdot (x + d)^2$$

$$|Q| = |q| \dfrac{(x + d)^2}{x^2}$$

Já que os sinais são opostos, temos:

$$\boxed{Q = -q \dfrac{(x + d)^2}{x^2}}$$

Resposta: c

61.

Para que a condição seja possível, a resultante das forças sobre Q_2, na horizontal, deve ser nula.

$$K \dfrac{|Q_2\ Q_3|}{D^2} = K \dfrac{|Q_1\ Q_2|}{L^2} + K \dfrac{|Q_1\ Q_2|}{(2L)^2}$$

$$\dfrac{Q_3}{D^2} = \dfrac{Q_1}{L^2} + \dfrac{Q_1}{4L^2}$$

$$\dfrac{Q_3}{D^2} = \dfrac{5\ Q_1}{4L^2}$$

$$4\ Q_3\ L^2 = 5\ Q_1\ D^2$$

Assim: $\boxed{\dfrac{Q_1\ D^2}{Q_3\ L^2} = \dfrac{4}{5}}$

Resposta: a

62.

a) A força de interação pode ser determinada pela Lei de Coulomb:

$$F_E = K\,\frac{|Q\,q|}{d^2}$$

Assim:

$$F_E = 9{,}0 \cdot 10^9\,\frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{(1{,}6 \cdot 10^{-15})^2}\ \text{(N)}$$

$$F_E = 9{,}0 \cdot 10^1\ \text{N}$$

Mas: $F_N = 20F_E$

Portanto: $F_N = 20 \cdot 9{,}0 \cdot 10^1$ (N)

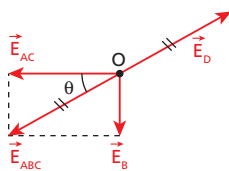
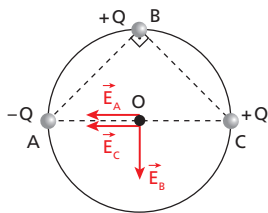
$$\boxed{F_N = 1{,}8 \cdot 10^3\ \text{N}}$$

b) Cálculo da força eletrostática:

$$F_E = |q|\,E \quad \Rightarrow \quad F_E = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{16}\ \text{(N)}$$

$$\boxed{F_E = 3{,}2 \cdot 10^{-13}\ \text{N}}$$

Respostas: a) $1{,}8 \cdot 10^3$ N; b) $3{,}2 \cdot 10^{-13}$ N

63.

Atenção:

$E_A = E_B = E_C = E$

$E_{AC} = 2E$

Portanto, usando Pitágoras, temos:

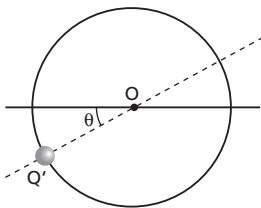
$$E_{ABC}^{\ 2} = E_{AC}^{\ 2} + E_B^{\ 2}$$

$$E_{ABC}^{\ 2} = (2E)^2 + E^2 = 4E^2 + E^2 = 5E^2$$

$$E_{ABC} = \sqrt{5}\,E$$

$$K\,\frac{|Q'|}{R^2} = \sqrt{5}\,\frac{K\,|Q|}{R^2}$$

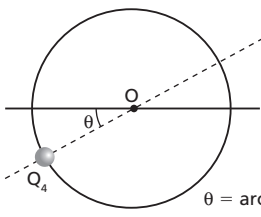
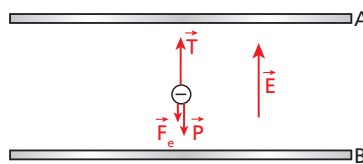
$$\boxed{Q' = \sqrt{5}\,Q}$$

A posição da carga Q' é dada por:

em que:

$$\text{tg}\,\theta = \frac{E_B}{E_{AC}} = \frac{E}{2E}$$

$$\text{tg}\,\theta = \frac{1}{2}$$

Assim: $\boxed{\theta = \text{arc tg}\,\frac{1}{2}}$

Resposta: $\sqrt{5}$ Q

64.

Se a força $\vec{F}_e$ é vertical voltada para baixo, o campo elétrico entre as placas é vertical, voltado para cima. Assim, a placa **A** possui carga negativa e a placa **B**, positiva. Observe que a carga **q** é negativa.

(01) Falsa.

(02) Verdadeira.

(04) Falsa.

(08) Verdadeira.

$$F_e = |q|\,E$$

$$(3 - 2) = |q|\,4 \cdot 10^6$$

$$\boxed{|q| = 0{,}25 \cdot 10^{-6}\ \text{C}}$$

(16) Falsa.

(32) Falsa.

Resposta: 10

65.

Se a esfera encontra-se em equilíbrio, a resultante das forças deve ser zero. Assim:

$\vec{F}_e$

$\vec{P}$

$$|\vec{F}_e| = |\vec{P}|$$

Sendo a carga positiva (da esfera), a força elétrica possui mesma direção e sentido do campo elétrico existente. Portanto, o vetor campo elétrico é vertical voltado para cima.

Para o cálculo do módulo do campo elétrico, temos:

$$F_e = P$$

$$|q|\,E = m\,g$$

$$E = \frac{m\,g}{|q|} = \frac{20 \cdot 10^{-6} \cdot 10}{0{,}24 \cdot 10^{-9}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{E \cong 8{,}3 \cdot 10^5\ \text{N/C}}$$

Resposta: a

66.

O campo elétrico uniforme produz na partícula uma força constante. A força constante produz uma aceleração constante e o movimento da partícula é um MUV.

Assim, aplicando uma das equações do MUV, temos:

$$v = v_0 + \gamma\,t$$

Mas: $F = |q|\,E \quad \Rightarrow \quad m\,\gamma = |q|\,E \quad \Rightarrow \quad \gamma = \frac{|q|\,E}{m}$

então:

$$v = 0 + \frac{|q|\,E}{m} \cdot t \quad \Rightarrow \quad v = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 4}{9{,}1 \cdot 10^{-31}} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-8}$$

$$v \cong 1{,}40 \cdot 10^4\ \text{m/s}$$

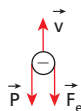
$$\boxed{v = 14\ \text{km/s}}$$

Resposta: 14 km/s

67.

1) Uma carga negativa fica sujeita a uma força de mesma direção e sentido contrário do vetor campo elétrico.

2) Assim, na partícula temos:

$\vec{v}$ ↑ ⊖ ↓ $\vec{P}$ ↓ $\vec{F}_e$

3) Cálculo da aceleração:

$F_R = F_e + P \Rightarrow m\gamma = |q|E + mg$

$$\gamma = \frac{|q|E}{m} + g \Rightarrow \gamma = \left(\frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^4}{10 \cdot 10^{-3}} + 10\right)$$

$\gamma = 16\ m/s^2$

4) Como a aceleração é constante, o movimento da partícula é MUV.

$v = v_0 + \gamma t \Rightarrow -6 = 6 - 16 \cdot t$

Atenção: o referencial adotado indica para cima.

$16t = 12 \Rightarrow \boxed{t = 0{,}75\ s}$

Resposta: 0,75 s

68.

A velocidade **v** é horizontal, não sendo afetada pelo campo elétrico que provocará uma variação uniforme na componente vertical da velocidade. Assim, o movimento do elétron será a composição de um MU horizontal e um MUV vertical, para cima. A trajetória do elétron será parabólica.

Resposta: c

69.

a) $F = F_e$

$$m a = |q| E \Rightarrow a = \frac{|q| E}{m}$$

Portanto:

$$\frac{a_p}{a_\alpha} = \frac{|q_p| m_\alpha}{|q_\alpha| m_p}$$

Sendo **e** a carga do próton e **m** a massa, temos:

$$\frac{a_p}{a_\alpha} = \frac{4em}{2em} \Rightarrow \boxed{\frac{a_p}{a_\alpha} = 2}$$

b) Na vertical as partículas possuem MUV.

$$\Delta s = \frac{a t^2}{2}$$

Como $\Delta s_p = \Delta s_\alpha$, temos:

$$\frac{a_p t_p^2}{2} = \frac{a_\alpha t_\alpha^2}{2}$$

$$\frac{a_p}{a_\alpha} t_p^2 = t_\alpha^2$$

$$2t_p^2 = t_\alpha^2$$

$$\left(\frac{t_p}{t_\alpha}\right)^2 = \frac{1}{2} \Rightarrow \boxed{\frac{t_p}{t_\alpha} = \frac{\sqrt{2}}{2}}$$

Respostas: a) 2; b) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

70.

1) Cálculo da massa da gota:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = dV$$

$$m = d\,\frac{4}{3}\,\pi r^3$$

$$m = 1\,000\ \frac{4}{3}\ 3{,}14 \cdot (10 \cdot 10^{-6})^3$$

$$m \cong 4{,}2 \cdot 10^{-12}\ kg$$

2) O movimento horizontal da gota é uniforme. Assim:

$\Delta s = v t$

$2{,}0 \cdot 10^{-2} = 20t$

$t = 1{,}0 \cdot 10^{-3}\ s$

3) O movimento vertical da gota é uniformemente variado pelo fato de ela atravessar um campo elétrico uniforme. Observe que não vamos considerar o campo gravitacional. Assim:

$$m a = |q| E \Rightarrow a = \frac{|q| E}{m}$$

Na queda:

$$\Delta s = \frac{a t^2}{2} \Rightarrow y = \frac{|q| E}{m} \cdot \frac{t^2}{2}$$

Para que a gota sofra a ação de uma força no sentido do campo elétrico, a sua carga deve ser positiva.

Portanto:

$$0{,}30 \cdot 10^{-3} = \frac{q\ 8{,}0 \cdot 10^4}{4{,}2 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{(1{,}0 \cdot 10^{-3})^2}{2}$$

$$\boxed{q \cong 3{,}1 \cdot 10^{-14}\ C}$$

Resposta: b

71.

As forças de repulsão são conservativas (forças de campo). Assim, a energia cinética transforma-se em potencial. Portanto, estando a partícula em repouso em **M**, temos:

$\Delta E_p = \Delta E_c = 3{,}2 \cdot 10^{-21}\ J$

Como $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C$, temos:

$$\Delta E_p = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-21}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}}\ eV$$

$\Delta E_p = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ eV$

$\Delta E_p = 20 \cdot 10^{-3}\ eV$

$\boxed{\Delta E_p = 20\ meV}$

Resposta: 20 meV

72.

a) No equilíbrio, temos:

$F_E = P$

$Q E + Q E = (m + 3m) g$

$2 Q E = 4 m g$

$$\boxed{Q = \frac{2 m g}{E}}$$

b) Na partícula de massa 3 m temos as forças indicadas abaixo. Assim:

$T + F_E = F_e + P$

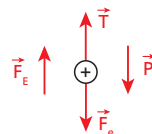
$$T + QE = k\,\frac{Q\,Q}{a^2} + 3 m g$$

$$T = \frac{k}{a^2}\,Q^2 - Q E + 3 m g$$

$$T = \frac{k}{a^2}\left(\frac{2 m g}{E}\right)^2 - \frac{2 m g}{E}\,E + 3 m g$$

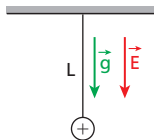
$$T = \frac{k\ 4\ m^2\ g^2}{a^2\ E^2} - 2 m g + 3 m g$$

$$\boxed{T = \frac{4\,k\,m^2\,g^2}{a^2\,E^2} + m g}$$

Respostas: a) $\frac{2 m g}{E}$; b) $\frac{4 k m^2 g^2}{a^2 E^2} + m g$

73.

a) Apenas com o campo gravitacional:

$$T = 2\,\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T = 2 \cdot 3\sqrt{\frac{1}{9{,}0}} \Rightarrow \boxed{T = 2{,}0\text{ s}}$$

b) Com o campo gravitacional mais o campo elétrico:

Assim, o pêndulo estará sujeito a um campo "resultante" que proporcionará uma aceleração **a**, determinada por:

$F = F_e + P \Rightarrow m\,a = |q|\,E + m\,g$

$$a = \frac{|q|\,E}{m} + g \Rightarrow a = \left(\frac{3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{0{,}100} + 9{,}0\right)(m/s^2)$$

$a = 7{,}0 + 9{,}0\ (m/s^2) \Rightarrow a = 16\ m/s^2$

Portanto:

$$T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{a}} \Rightarrow T' = 2 \cdot 3\sqrt{\frac{1}{16}} \Rightarrow T' = \frac{2 \cdot 3}{4}$$

$\boxed{T' = 1{,}5\text{ s}}$

Respostas: a) 2,0 s; b) 1,5 s

74.

Período de um pêndulo simples: $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

1) Sem campo elétrico:

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{1{,}0}{10}} \quad \text{(I)}$$

2) Com campo elétrico:

$$2P = 2\pi\sqrt{\frac{1{,}0}{g_{ap}}} \quad \text{(II)}$$

O g_{ap} é devido às ações dos campos gravitacional e elétrico. Substituindo (I) em (II), temos:

$$2\left(\frac{2\pi}{\sqrt{10}}\right) = \frac{2\pi}{\sqrt{g_{ap}}} \Rightarrow \frac{2}{\sqrt{10}} = \frac{1}{\sqrt{g_{ap}}}$$

$$\frac{4}{10} = \frac{1}{g_{ap}} \Rightarrow g_{ap} = 2{,}5\ m/s^2$$

Como: $g_{ap} = g - a \Rightarrow 2{,}5 = 10 - a \Rightarrow a = 7{,}5\ m/s^2$

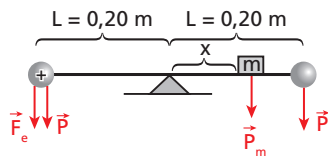
Então: $F = F_e$

$m\,a = |q|\,E \Rightarrow 1{,}0 \cdot 10^4 \cdot 7{,}5 = 3{,}0 \cdot 10^{-5}\,E$

$\boxed{E = 2{,}5 \cdot 10^9\ N/C}$

A direção do campo elétrico é vertical e seu sentido é de baixo para cima.

Resposta: $2{,}5 \cdot 10^9$ N/C; vertical; de baixo para cima.

75.

Aplicando-se a condição de equilíbrio, temos:

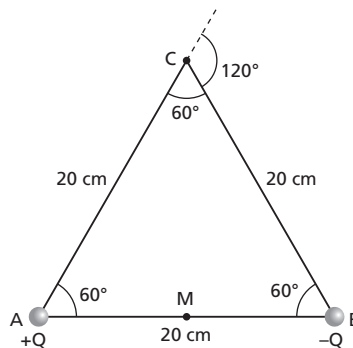
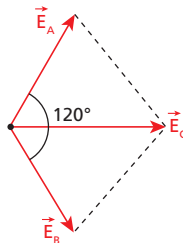
$(F_e + P)\,L = P_m\,x + P\,L \Rightarrow F_e\,L + P\,L = P_m\,x + P\,L$

$F_e\,L = P_m\,x \Rightarrow |q|\,E\,L = m\,g\,x$

$3{,}0 \cdot 10^{-10} \cdot 2{,}0 \cdot 10^6 \cdot 0{,}20 = 0{,}10 \cdot 10^{-3} \cdot 10\ x$

$\boxed{x = 0{,}12\text{ m}}$

Resposta: 0,12 m

76.

a) Em **C**:

$\vec{E}_C = \vec{E}_A + \vec{E}_B$

Como $E_A = E_B = K\,\frac{|Q|}{d^2}$

$E_A = E_B = 9 \cdot 10^9\,\frac{1 \cdot 10^{-9}}{(0{,}20)^2}$

$E_A = E_B = 225\ N/C$

Então, aplicando a Lei dos Cossenos, temos:

$E_C^2 = E_A^2 + E_B^2 + 2\,E_A\,E_B \cos 120°$

$E_C^2 = E_A^2 + E_A^2 + 2\,E_A^2\left(-\frac{1}{2}\right)$

$E_C^2 = E_A^2 + E_A^2 - E_A^2 = E_A^2$

$\boxed{E_C = E_A = 225\ N/C}$

b) Em **M**:

$\vec{E}_M = \vec{E}_A + \vec{E}_B$

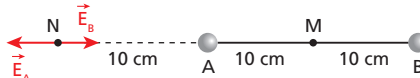
Como: $E_A = E_B$

então: $E_M = E_A + E_B = 2\,E_A$

$E_M = 2K\,\frac{|Q|}{d^2}$

$E_M = 2 \cdot 9 \cdot 10^9\,\frac{1 \cdot 10^{-9}}{(0{,}10)^2}\ (N/C)$

$\boxed{E_M = 1\,800\ N/C}$

c)

$\vec{E}_N = \vec{E}_A + \vec{E}_B$

Então:

$E_N = E_A - E_B$

$E_N = K\,\frac{|Q|}{d_A^2} - K\,\frac{|Q|}{d_B^2}$

$E_N = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{(0{,}10)^2} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 1 \cdot 10^{-9}}{(0{,}30)^2}$

$E_N = (900 - 100)\ (N/C)$

$\boxed{E_N = 800\ N/C}$

Respostas: a) 225 N/C; b) 1 800 N/C; c) 800 N/C

77.

Utilizando-se a conservação da energia e estabelecendo-se que em $y = 0$ a energia potencial gravitacional é nula e a energia potencial elétrica vale zero no infinito, temos que:

Energia mecânica (A) = Energia mecânica (P)

Assim:

$$m\,g\,h = \frac{m\,v^2}{2} + m\,g\,h' \Rightarrow m\,g \cdot 3 = \frac{m\,v^2}{2} + m\,g\,(-3)$$

$$6\,m\,g = \frac{m\,v^2}{2} \Rightarrow 12\,g = v^2 \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{12\,g} = 2\sqrt{3\,g}}$$

Resposta: $\sqrt{12\,g}$

78.

No interior de um condutor em equilíbrio eletrostático o campo elétrico resultante é sempre nulo, em todos os pontos. É a blindagem eletrostática. Assim, a força de interação entre as cargas q_a e q_b é nula.

Resposta: b

79.

$$F_A = F_C = K\frac{|Q\,Q|}{d^2} \Rightarrow F_A = K\frac{Q^2}{d^2} \Rightarrow Q = d\sqrt{\frac{F_A}{K}} \qquad \text{(I)}$$

Usando a Lei dos Cossenos, temos:

$$F_{AC}^2 = F_A^2 + F_C^2 + 2\,F_A\,F_C \cos 60°$$

$$F_{AC}^2 = F_A^2 + F_A^2 + 2F_A^2\left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow F_{AC}^2 = 3F_A^2 \Rightarrow F_{AC} = F_A\sqrt{3} \qquad \text{(II)}$$

Em **B**, temos:

$$\text{tg}\,\theta = \frac{F_{AC}}{P}$$

$$F_{AC} = P\,\text{tg}\,\theta \qquad \text{(III)}$$

De (II) e (III), vem:

$$F_A\sqrt{3} = P\,\text{tg}\,\theta \Rightarrow F_A = \frac{P\,\text{tg}\,\theta}{\sqrt{3}} \qquad \text{(IV)}$$

Na figura, podemos observar que o triângulo ABC é equilátero e o ponto **M** é o encontro das alturas. Assim:

$$\overline{BM} = \frac{2}{3}\,\overline{BE}$$

Mas, no triângulo BEC, temos:

$$\cos 30° = \frac{\overline{BE}}{d} \Rightarrow \overline{BE} = d\cos 30° = d\,\frac{\sqrt{3}}{2}$$

Então:

$$\overline{BM} = \frac{\sqrt{3}\,d}{3} \qquad \text{(V)}$$

No triângulo OMB, temos:

$$\text{sen}\,\theta = \frac{\overline{BM}}{\ell} \Rightarrow \overline{BM} = \ell\,\text{sen}\,\theta$$

Usando (V), vem:

$$\ell\,\text{sen}\,\theta = \frac{\sqrt{3}\,d}{3} \Rightarrow d = \sqrt{3}\,\ell\,\text{sen}\,\theta$$

Portanto, em (I), temos:

$$Q = \sqrt{3}\,\ell\,\text{sen}\,\theta\sqrt{\frac{P\,\text{tg}\,\theta}{\sqrt{3}\,K}} \Rightarrow Q = \ell\,\text{sen}\,\theta\sqrt{\frac{3P\,\text{tg}\,\theta}{\sqrt{3}\,K}}$$

$$\boxed{Q = \ell\,\text{sen}\,\theta\sqrt{\frac{\sqrt{3}\,P\,\text{tg}\,\theta}{K}}}$$

Resposta: $Q = \ell\,\text{sen}\,\theta\sqrt{\frac{\sqrt{3}\,P\,\text{tg}\,\theta}{K}}$

80.

1) O corpo m_1 desloca-se em movimento acelerado entre $\theta = 0°$ e $\theta = 300°$. Assim, usando-se a Equação de Torricelli (angular), temos:

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\,\alpha\,\Delta\theta$$

$$\omega^2 = 0 + 2\,\frac{6\pi}{5} \cdot \frac{5\pi}{3}$$

$$\omega^2 = 4\pi^2$$

$$\omega = 2\pi \text{ rad/s}$$

Como $v = \omega\,R$, então:

$$v_1 = 2\pi\,\frac{1}{\pi}$$

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

2) Na colisão inelástica total, entre m_1 e m_2, vem:

$$\vec{Q}_{antes} = \vec{Q}_{depois}$$

$$m_1\,v_1 = (m_1 + m_2)v$$

$$v = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)}\,2$$

3) O conjunto $(m_1 + m_2)$ fica sob a ação do campo elétrico, após o fio arrebentar.

4) Na direção **y** (onde existe o campo $\vec{E}$), temos MUV:

$$v = v_0 + \gamma\,t$$

Sendo: $v_0 = v \text{ sen } 30°$

$F = -q\,E \Rightarrow \gamma = -\dfrac{q\,E}{(m_1 + m_2)}$

Em **P**, $v_y = 0$, e:

$$0 = \frac{2m_1}{(m_1 + m_2)} \cdot \frac{1}{2} - \frac{q\,E}{(m_1 + m_2)}\,t$$

$$t\,\frac{q\,E}{(m_1 + m_2)} = \frac{m_1}{(m_1 + m_2)}$$

$$t = \frac{m_1}{q\,E}$$

5) Na direção **x** (MU), temos:

$d = v_x\ t$

$d = v\,(\cos\theta)\ t$

$$d = \frac{2m_1}{(m_1 + m_2)\,E\,Q} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{m_1}{q\,E}$$

$$\boxed{d = \frac{m_1^2\,\sqrt{3}}{(m_1 + m_2)\,E\,Q}}$$

Resposta: $\dfrac{m_1^2\,\sqrt{3}}{(m_1 + m_2)\,E\,Q}$

81.

No ponto em que a partícula eletrizada deixa o campo elétrico deve-se passar uma linha horizontal. Se a partícula deve, agora, atingir o maior alcance horizontal, ela sairá do compo elétrico formando 45° com esse eixo.

Assim, para percorrer a distância **L**, no campo elétrico, com movimento uniforme, já que não existe força na horizontal, temos:

$\Delta S = v \cdot \Delta t$

$L = v \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \dfrac{L}{v}$

Na vertical, a partícula sai do campo elétrico com velocidade $v_y = v$. Na vertical, o movimento foi uniformemente acelerado.

$v_y = v \Rightarrow v_{0_y} + a_y t = v$ (atenção que: $v_{0_y} = 0$)

$a_y t = v$

$a_y \cdot \dfrac{L}{v} = v \Rightarrow a_y = \dfrac{v^2}{L}$

Mas:

$F_R = F_E - P \Rightarrow m\,a_y = q\,E - m\,g$

$E = \dfrac{m}{q}\left(a_y + g\right)$

$$\boxed{E = \frac{m}{q}\left(\frac{v^2}{L} + g\right)}$$

Resposta: $\dfrac{m}{q}\left(\dfrac{v^2}{L} + g\right)$

82.

a) Entre as placas existe um campo elétrico. Assim, o movimento da partícula é um movimento balístico.

1) Na horizontal (MU):

$d = v\ \Delta t$

$5{,}0 \cdot 10^{-2} = 1{,}0 \cdot 10^3\,\Delta t$

$\Delta t = 50 \cdot 10^{-5}$ s

2) Na vertical (MUV):

$\Delta s = v_0\,t + \dfrac{\gamma\,t^2}{2}$

$2{,}5 \cdot 10^{-2} = \dfrac{\gamma\,(5{,}0 \cdot 10^{-5})^2}{2}$

$5{,}0 \cdot 10^{-2} = \gamma\ 25{,}0 \cdot 10^{-10}$

$\gamma = a = 2{,}0 \cdot 10^7$ m/s

Portanto:

$F_e = F$

$|q|\,E = m\,a$

$0{,}1 \cdot 10^{-6}\,E = 10^{-6} \cdot 2{,}0 \cdot 10^7$

$\boxed{E = 2{,}0 \cdot 10^8 \text{ N/C}}$

b) Fora das placas, a partícula fica isenta da ação de campos (elétrico e gravitacional). Assim, seu movimento é retilíneo e uniforme até o ponto **P**.

Portanto, em y_1 e em **P**, a velocidade tem a mesma intensidade.

1) Na vertical (entre as placas) (MUV):

$v = v_0 + \gamma\,t$

$v_y = 0 + 2{,}0 \cdot 10^7 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-5}$

$v_y = 1{,}0 \cdot 10^3$ m/s

2) Na horizontal:

$v_x = v_0 = 1{,}0 \cdot 10^3$ m/s

3) Por Pitágoras:

$v^2 = v_x^2 + v_y^2$

$v^2 = (1{,}0 \cdot 10^3)^2 + (1{,}0 \cdot 10^3)^2$

$v^2 = 1{,}0 \cdot 10^6 + 1{,}0 \cdot 10^6 = 2{,}0 \cdot 10^6$

$\boxed{v = \sqrt{2{,}0} \cdot 10^3 \text{ m/s}}$

Respostas: a) $2{,}0 \cdot 10^8$ N/C; b) $\sqrt{2{,}0} \cdot 10^3$ m/s

83.

a) $F_e = m\,g + Q\,E \Rightarrow F_e = 0{,}1 \cdot 10 + 3 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^5$

$\boxed{F_e = 4 \text{ N}}$

b) $$R = \frac{T_Q}{T_0} = \frac{2\pi\sqrt{\dfrac{m\,\ell}{F_e}}}{2\pi\sqrt{\dfrac{m\,\ell}{m\,g}}}$$

$$R = \sqrt{\frac{m\,g}{F_e}} = \sqrt{\frac{0{,}1 \cdot 10}{4}} = \sqrt{\frac{1}{4}} \Rightarrow \boxed{R = \frac{1}{2}}$$

c) No item **b**, vimos que:

$R = \dfrac{T_Q}{T_0} = \dfrac{1}{2}$

$T_Q = \dfrac{T_0}{2}$

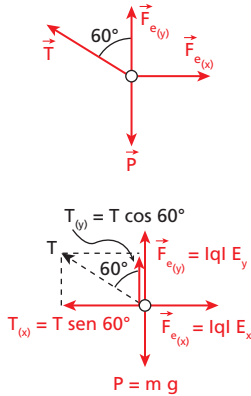
O novo período (T_Q) passa a ser a metade de T_0. Isso indica que o relógio "anda" o dobro, isto é, marca 2 minutos quando, na verdade, passou 1 minuto.

Assim, das 12 às 15 horas o relógio marca um tempo de 6 horas (o dobro do real).

$\boxed{t = 6 \text{ h (da tarde)}}$

Respostas: a) 4 N; b) $\dfrac{1}{2}$; c) 6 horas da tarde

84.

Na esfera, temos:

No eixo **x**, temos:

$F_{e(x)} = T_{(x)}$

$|q| E_x = T \text{ sen } 60°$

$q \sqrt{3} \cdot 10^5 = T \frac{\sqrt{3}}{2}$

$T = 2 \cdot 10^5 q$ (I)

No eixo **y**, temos:

$P = F_{e(y)} + T_{(y)}$

$m g = |q| E_y + T \cos 60°$

$2 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}8 = q\, 10^5 + T \frac{1}{2}$

Usando-se (I), vem:

$1{,}96 \cdot 10^{-2} = q\, 10^5 + \frac{2 \cdot 10^5\, q}{2}$

$1{,}96 \cdot 10^{-2} = q\, 10^5 + q\, 10^5$

$1{,}96 \cdot 10^{-2} = 2\, q\, 10^5$

$q = 9{,}8 \cdot 10^{-8}$ C

Em (I), temos:

$T = 2 \cdot 10^5 \cdot 9{,}8 \cdot 10^{-8}$ N

$\boxed{T = 1{,}96 \cdot 10^{-2} \text{ N}}$

Resposta: b

85.

A aceleração do elétron é devida a uma força elétrica e tem a mesma direção e sentido oposto ao do campo elétrico $\vec{E}$. O módulo da aceleração é dado por:

$F = F_e$

$m a = |q| E$

$a = \frac{|q| E}{m} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 100}{9{,}1 \cdot 10^{-31}}$

$a = 17{,}6 \cdot 10^{12}$ m/s²

O movimento do elétron é um movimento balístico, valendo:

$v_{0_y} = v_0 \text{ sen } 30°$

$v_{0_y} = \frac{v_0}{2}$

Na vertical temos um MUV:

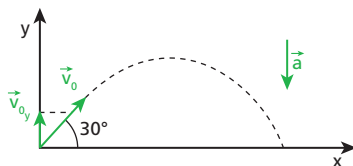
$v = v_0 + \gamma t$

$-\frac{v_0}{2} = \frac{v_0}{2} - a t$

$a t = v_0 \Rightarrow 17{,}6 \cdot 10^{12}\, t = 4 \cdot 10^5$

$t = 0{,}23 \cdot 10^{-7}$ s $= 23 \cdot 10^{-9}$ s

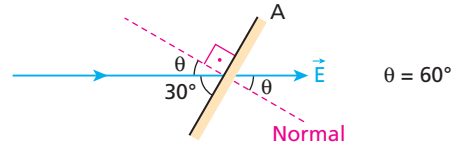
$\boxed{t = 23 \text{ ns}}$

Resposta: c

86.

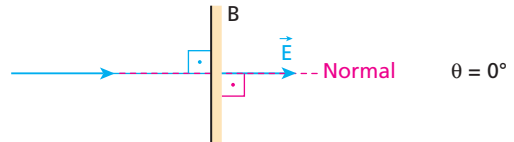
O fluxo do vetor $\vec{E}$, através de cada superfície, é determinado pela expressão:

$\phi = E A \cos \theta$

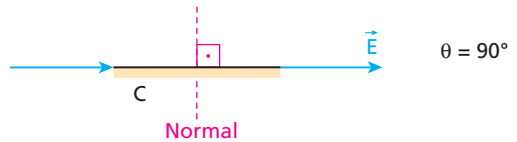
em que θ é o ângulo formado entre o vetor $\vec{E}$ e a normal à superfície considerada.

1) Em **A**:

Assim: $\phi_A = 200 \cdot 2{,}0 \cdot \cos 60° \left(\frac{N\, m^2}{C}\right)$

$\boxed{\phi_A = 200 \frac{N\, m^2}{C}}$

2) Em **B**:

Assim: $\phi_B = 200 \cdot 1{,}0 \cdot \cos 0° \frac{N\, m^2}{C}$

Como cos 0° = 1, temos: $\boxed{\phi_B = 200 \frac{N\, m^2}{C}}$

3) Em **C**:

Assim: $\phi_C = 200 \cdot 3{,}0 \cdot \cos 90° \left(\frac{N\, m^2}{C}\right)$

Como cos 90° = 0, vem: $\boxed{\phi_C = 0}$

Resposta: $200 \frac{N\, m^2}{C}$, $200 \frac{N\, m^2}{C}$ e zero.

87.

A superfície que envolve completamente as cargas elétricas é fechada, sendo chamada de superfície gaussiana.

O Teorema de Gauss estabelece que o fluxo total através de uma superfície gaussiana é dada pela relação:

$\phi_{total} = \frac{Q_{interna}}{\varepsilon}$

em que ε é uma constante relativa ao meio chamada de permissividade elétrica.

Assim, independentemente da forma e do tamanho da superfície gaussiana que envolve essa distribuição de cargas, temos:

$\phi_{total} = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-6}}{8{,}8 \cdot 10^{-12}} \left(\frac{N\, m^2}{C}\right) \Rightarrow \boxed{\phi_{total} = 2{,}5 \cdot 10^5 \frac{N\, m^2}{C}}$

Respostas: a) $2{,}5 \cdot 10^5 \frac{N\, m^2}{C}$; b) $2{,}5 \cdot 10^5 \frac{N\, m^2}{C}$;

c) $2{,}5 \cdot 10^5 \frac{N\, m^2}{C}$

88.

1) Cálculo da densidade volumétrica de cargas:

$$d = \frac{q}{V_{Total}} \Rightarrow d = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

2) Imagine uma superfície gaussiana esférica que passe pelo ponto **P** e tenha centro no centro da esfera sólida. No interior dessa gaussiana vamos encontrar uma carga elétrica dada por:

$Q = d \cdot V_{parcial}$

$$Q = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow Q = \frac{q\, r^3}{R^3}$$

3) Usando-se a Lei de Gauss, temos:

$$\phi = E\, A \cos\theta \quad \text{e} \quad \phi = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Assim: $\frac{Q}{\varepsilon_0} = E\, A \cos\theta$

Observe que o vetor campo elétrico ($\vec{E}_P$) é perpendicular à superfície esférica que passa por **P**, sendo $\theta = 0°$ e $\cos 0° = 1$.

Portanto, sendo a superfície esférica $A = 4\pi r^2$, temos:

$Q = E\, A\, \varepsilon_0$

$$\frac{q\, r^3}{R^3} = E\, 4\pi r^2 \varepsilon_0$$

$$\boxed{E = \frac{q\, r}{4\pi\, \varepsilon_0 R^3}}$$

Resposta: Veja demonstração na resolução.

89.

De acordo com o Teorema de Gauss:

$$\phi_{total} = \frac{Q_{interna}}{\varepsilon}$$

Como as duas superfícies **A** e **B** envolvem a mesma carga interna **Q**, temos:

$$\boxed{\phi_{total(A)} = \phi_{total(B)}}$$

Resposta: e

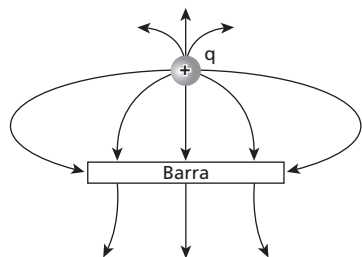
90. Teorema de Gauss:

$$\phi_{total} = \frac{Q_{interna}}{\varepsilon}$$

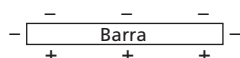
Observando que o comprimento do fio no interior das três superfícies é o mesmo: $L_A = L_B = L_C$, então, temos cargas internas iguais no interior das três superfícies. Assim:

$$\boxed{\phi_{total(A)} = \phi_{total(B)} = \phi_{total(C)}}$$

Resposta: a

91.

Pela configuração das linhas de força na barra, temos:

A carga total na barra é negativa:

$\boxed{Q_{bar} < 0}$

Do Teorema de Gauss, temos:

$Q_i = \phi\ total \cdot \varepsilon$

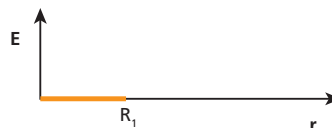
Considerando superfícies gaussianas envolvendo a carga **q** e a barra, notamos que o fluxo total (ϕ) é maior na gaussiana que envolve a carga **q**.

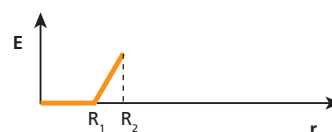
Assim: $\boxed{|Q_{bar}| < |q|}$

Resposta: b

92.

Para $0 \leq r \leq R_1$

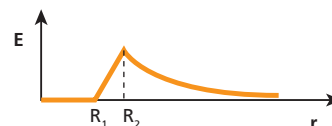
$E = 0$

Para $R_1 \leq r \leq R_2$

Q_i varia de maneira uniforme com o aumento do raio **r**.

Para $r > R_2$

Q_i se mantém constante.

$$E\, A = \frac{Q_i}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{Q_i}{4\pi r^2 \varepsilon} \Rightarrow E = \frac{Q_i}{4\pi\ \varepsilon} \cdot \frac{1}{r^2}$$

A intensidade de $\vec{E}$ diminui na razão inversa do quadrado do raio **r**.

Resposta: a

93.

Inicialmente vamos imaginar uma superfície gaussiana, esférica, de raio 40 cm (0,40 m). No interior dessa superfície existe uma carga elétrica dada por:

q = densidade volumétrica de carga × volume

Assim:

$$q = \frac{Q}{V_{total}} \cdot V_{parcial} \Rightarrow q = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{Q\, r^3}{R^3}$$

Usando a Lei de Gauss, temos:

$\phi = E\, A \cos\theta$

e $\phi = \frac{q}{\varepsilon_0}$

Portanto: $\frac{q}{\varepsilon_0} = E\, A \cos\theta$

Substituindo os valores numéricos, temos:

$$\frac{Q\, r^3}{R^3} = E\, \varepsilon_0\, 4\pi r^2 \cos 0°$$

$$\frac{6{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}40}{(1{,}0)^3} = E \cdot 8{,}8 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1$$

$$\boxed{E = 2{,}5 \cdot 10^4\ N/C}$$

Resposta: $2{,}5 \cdot 10^4$ N/C

Tópico 3 – Potencial elétrico

Página 68

1.

I) Incorreta.

$$F = |q|\,E \Rightarrow \boxed{E = \frac{F}{|q|}}$$

II) Correta.

III) Incorreta. O potencial elétrico é sempre uma grandeza escalar.

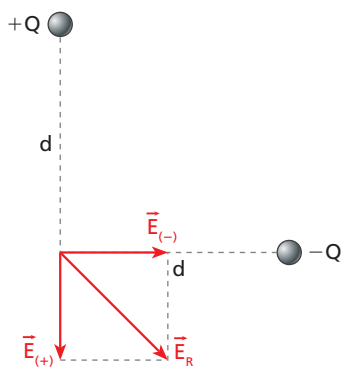
IV) Correta.

Resposta: b

3.

Vamos lembrar que carga positiva gera campo de "afastamento" e carga negativa, de "aproximação".

Veja a figura ao lado.

Resposta: c

4.

Potencial gerado por carga elétrica é grandeza escalar. Assim:

$$V_p = V_{(+)} + V_{(-)} \Rightarrow V_p = K\,\frac{(+Q)}{d} + K\,\frac{(-Q)}{d}$$

$$V_p = +K\frac{Q}{d} - K\frac{Q}{d} = 0 \Rightarrow \boxed{V_p = 0}$$

Resposta: a

5.

Aplicando a expressão do potencial elétrico, temos: $V = K\,\dfrac{Q}{d}$

Assim:

$$V_p = 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \frac{5{,}0 \cdot 10^{-6}}{3{,}0} \Rightarrow \boxed{V_p = 1{,}5 \cdot 10^4\ \text{V}}$$

Resposta: $1{,}5 \cdot 10^4$ V

6.

Aplicando a expressão do potencial elétrico, temos: $V = K\,\dfrac{Q}{d}$

Assim: $5{,}0 \cdot 10^4 = 9{,}0 \cdot 10^9\ \dfrac{Q}{0{,}45}$

Atenção que: d = 45 cm = 0,45 m

Portanto: $Q = 2{,}5 \cdot 10^{-6}\ \text{C} \Rightarrow \boxed{Q = 2{,}5\ \mu\text{C}}$

Resposta: 2,5 μC

7.

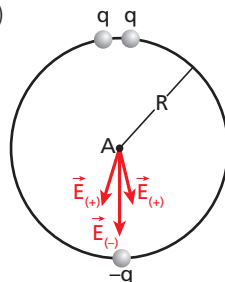
$$V = K\,\frac{Q}{d}$$

Do gráfico, temos:

$$30 = 9 \cdot 10^9\ \frac{Q}{3 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{Q = +\,0{,}1 \cdot 10^{-9}\ \text{C}}$$

Resposta: d

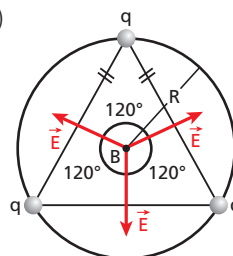
8.

(1)

$\boxed{E_A \neq 0}$

$V_A = V_{(+)} + V_{(+)} + V_{(-)} = V_{(+)}$

$(V_{(+)} = -V_{(-)})$

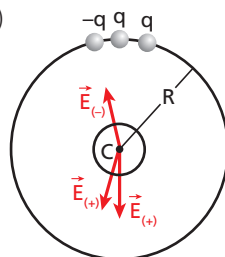
$\boxed{V_A \neq 0}$

(2)

$\boxed{E_B = 0}$

(Ver resolução do exercício 63 — Tópico 2)

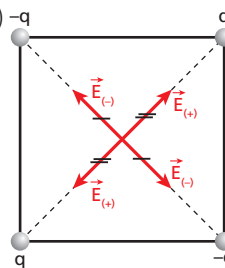
$V_B = V_{(+)} + V_{(+)} + V_{(+)} = 3V_{(+)}$

$\boxed{V_B \neq 0}$

(3)

$\boxed{E_C \neq 0}$

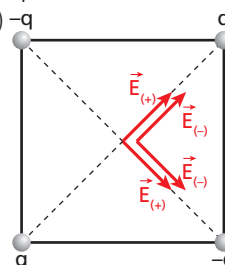
$V_C = V_{(+)} + V_{(+)} + V_{(-)} = V_{(+)}$

$\boxed{V_C \neq 0}$

(4)

$\boxed{E_D = 0}$

$V_D = V_{(+)} + V_{(+)} + V_{(-)} + V_{(-)} = 0$

$\boxed{V_D = 0}$

(5)

$\boxed{E_E \neq 0}$

$V_E = V_{(+)} + V_{(+)} + V_{(-)} + V_{(-)} = 0$

$\boxed{V_E = 0}$

Respostas: a) (2) e (4); b) (4) e (5)

9.

1) A distância entre os pontos **O** e **B** vale 5 (observe o triângulo pitagórico 3, 4 e 5).

$d_{OB} = 5$

Assim:

$$E_B = K\frac{|Q|}{(5)^2} = E \Rightarrow E = \frac{K|Q|}{25}$$

$$V_B = K\frac{|Q|}{5} = V \Rightarrow V = \frac{KQ}{5}$$

2) Do gráfico, temos:
$d_{OA} = 10$
Assim:

$$E_A = K\frac{|Q|}{(10)^2} = K\frac{|Q|}{4 \cdot 25} \Rightarrow \boxed{E_A = \frac{E}{4}}$$

$$V_A = K\frac{|Q|}{10} = \frac{KQ}{2 \cdot 5} \Rightarrow \boxed{V_A = \frac{V}{2}}$$

Resposta: a

10.

a) Para cálculo da energia potencial, usamos:

$$E_p = K\frac{Q_A Q_B}{d}$$

$$E_p = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{6{,}0 \cdot 10^{-6}(-4{,}0 \cdot 10^{-6})}{3{,}0}$$

$$\boxed{E_p = -7{,}2 \cdot 10^{-2}\ J}$$

b) O potencial resultante em **C** é dado por:

$$V_C = V_A + V_B$$

$$V_c = K\frac{Q_A}{d_{AC}} + K\frac{Q_B}{d_{BC}}$$

$$V_c = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{6{,}0 \cdot 10^{-6}}{3{,}0} + 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{(-4{,}0 \cdot 10^{-6})}{3{,}0}$$

$$V_C = 0{,}6 \cdot 10^4\ V$$

$$\boxed{V_C = 6{,}0 \cdot 10^3\ V}$$

c) Energia potencial adquirida pela carga de prova em **C**:

$$E_{P_C} = q\,V_C \Rightarrow E_{P_C} = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}0 \cdot 10^3$$

$$\boxed{E_{P_C} = 12\ J}$$

Respostas: a) $-7,2 \cdot 10^{-2}$ J; b) $6,0 \cdot 10^3$ V; c) 12 J

11.

Comparando as expressões do módulo do vetor campo elétrico e do potencial elétrico, temos:

$$\begin{cases} E = K\dfrac{|Q|}{d^2} \\ V = K\dfrac{Q}{d} \end{cases}$$

Assim: $V = E\,d$

Portanto: $300 = 100 \cdot d \Rightarrow \boxed{d = 3{,}0\ m}$

Para o cálculo da carga **Q**, podemos usar a expressão do potencial:

$$V = K\frac{Q}{d}$$

$$300 = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{Q}{3{,}0} \Rightarrow Q = 100 \cdot 10^{-9}\ C$$

$$\boxed{Q = 100\ nC}$$

Resposta: 3,0 m; 100 nC

12.

Em **C** o potencial resultante é nulo. Assim:

$$V_c = \frac{K(-Q)}{(82 + x)} + \frac{K(+q)}{x} = 0$$

$$\frac{q}{x} = \frac{Q}{(82 + x)} \Rightarrow \frac{q}{x} = \frac{3q}{(82 + x)}$$

$$3x = 82 + x \Rightarrow 2x = 82$$

$$\boxed{x = 41\ cm}$$

Resposta: 41 cm

13.

Aplicando as expressões do campo elétrico, temos:

$$E_M = E_A + E_B$$

$$E_M = \frac{k}{d^2}(|Q_A| + |Q_B|)$$

$$1{,}8 + 10^3 = \frac{9{,}0 \cdot 10^9}{(0{,}20)^2} \cdot (|Q_A| + |Q_B|)$$

$$(|Q_A| + |Q_B|) = 8{,}0 \cdot 10^{-9} C \quad \text{(I)}$$

Aplicando as expressões do potencial elétrico, vem:

$$V_M = V_A + V_B$$

$$V_M = \frac{K}{d}(Q_A + Q_B) \Rightarrow -90 = \frac{9{,}0 \cdot 10^9}{0{,}20}(Q_A + Q_B)$$

$$Q_A + Q_B = -2{,}0 \cdot 10^{-9}\ C \quad \text{(II)}$$

Sabendo que Q_A é positiva e comparando (I) e (II), temos:

$$\begin{cases} Q_A + |Q_B| = 8{,}0 \cdot 10^{-9} C \\ Q_A + Q_B = -2{,}0 \cdot 10^{-9} C \end{cases}$$

Sendo Q_B negativa, podemos afirmar que: $Q_B + |Q_B| = 0$

Assim, somando membro a membro as expressões, vem:

$$2Q_A = 6{,}0 \cdot 10^{-9}\ C \Rightarrow \boxed{Q_A = +3{,}0\ nC}$$

Em (II), temos:

$$3{,}0 \cdot 10^{-9} + Q_B = -2{,}0 \cdot 10^{-9}$$

$$Q_B = -5{,}0 \cdot 10^{-9}\ C \Rightarrow \boxed{Q_B = -5{,}0\ nC}$$

Resposta: +3,0 nC; −5,0 nC

14.

1) Se a carga de prova adquire 1,0 J de energia potencial, nesse ponto **P** o potencial elétrico é dado por:

$$E_p = q\,V_p$$

$$1{,}0 = 2 \cdot 10^{-6} V_p$$

$$V_p = 5{,}0 \cdot 10^{-5}\ V$$

2) Em **P**, o potencial resultante é expresso por:

$$V_p = V_A + V_B = K\frac{Q_A}{d_A} + K\frac{Q_B}{d_B}$$

Assim:

$$5{,}0 \cdot 10^5 = 1{,}0 \cdot 10^{10} \cdot \left(\frac{Q_A}{0{,}60} + \frac{Q_B}{0{,}40}\right)$$

$$5{,}0 \cdot 10^{-5} = \frac{Q_A}{0{,}60} + \frac{Q_B}{0{,}40}$$

$$6{,}0 \cdot 10^{-5} = 2Q_A + 3Q_B \quad \text{(I)}$$

3) Como a carga de prova permanece em repouso no ponto **P**, temos: $E_p = 0$

Assim: $E_A = E_B \Rightarrow K\frac{Q_A}{d_A^2} = K\frac{|Q_B|}{d_B^2}$

$$\frac{Q_A}{(0{,}60)^2} = \frac{Q_B}{(0{,}40)^2} \Rightarrow Q_A = \frac{9}{4}Q_B \quad \text{(II)}$$

4) Substituindo (II) em (I), vem:

$$6{,}0 \cdot 10^{-5} = 2\left(\frac{9}{4}Q_B\right) + 3Q_B$$

$$\boxed{Q_B = 8{,}0 \cdot 10^{-6}\,\text{C} = 8{,}0\,\mu\text{C}}$$

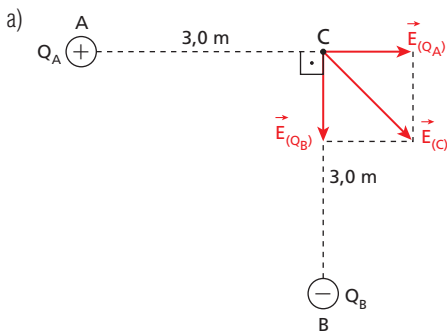
5) Em (II), temos:

$$Q_A = \frac{9}{4}(8{,}0 \cdot 10^{-6})\,\text{C}$$

$$\boxed{Q_A = 18 \cdot 10^{-6}\,\text{C} = 18\,\mu\text{C}}$$

Resposta: 18 µC; 8,0 µC

16.

a)

Usando Pitágoras, temos:

$$E_{(C)}^2 = E_{(Q_A)}^2 + E_{(Q_B)}^2$$

$$E_{(C)}^2 = \left(K\frac{|Q_A|}{d_A^2}\right)^2 = \left(K\frac{|Q_B|}{d_B^2}\right)^2$$

$$E_{(C)}^2 = \left(9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \frac{3{,}0 \cdot 10^{-6}}{3{,}0^2}\right) + \left(9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \frac{4{,}0 \cdot 10^{-6}}{3{,}0^2}\right)$$

$$\boxed{E_{(C)} = 5{,}0 \cdot 10^3\,\text{N/C}}$$

b) $\nu_{(C)} = \nu_{(Q_A)} + \nu_{(Q_A)}$

$$\nu_{(C)} = K\frac{Q_A}{d_A} + K\frac{Q_B}{d_B}$$

$$\nu_{(C)} = \frac{9{,}0 \cdot 10^9}{3{,}0}(3{,}0 \cdot 10^{-6} - 4{,}0 \cdot 10^{-6})$$

$$\boxed{\nu_{(C)} = -3{,}0 \cdot 10^3\,\text{V}}$$

Respostas: a) $5{,}0 \cdot 10^3$ N/C; b) $-3{,}0 \cdot 10^3$ V

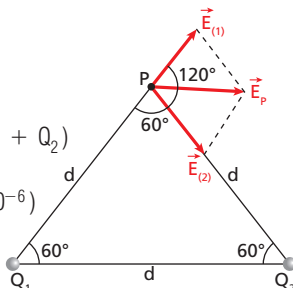
17.

Cálculo do potencial em **P**:

$$V_{(P)} = V_{(Q_1)} + V_{(Q_2)}$$

$$V_{(P)} = K\frac{Q_1}{d} + K\frac{Q_2}{d} = \frac{K}{d}(Q_1 + Q_2)$$

$$V_{(P)} = \frac{9 \cdot 10^9}{0{,}3}(1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-6})$$

$$\boxed{V_{(P)} = 0}$$

Cálculo da intensidade do campo elétrico em **P**.

Usando a Lei dos Cossenos:

$$E_{(P)}^2 = E_{(1)}^2 + E_{(2)}^2 + 2E_{(1)}E_{(2)}\cos 120°$$

Como:

$$E_1 = E_2 = K\frac{|Q|}{d^2}$$

$$E_1 = E_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-6}}{(0{,}3)^2}$$

$$E_1 = E_2 = 10^5\,\text{V/m}$$

Então:

$$E_{(P)}^2 = (10^5)^2 + (10^5)^2 - (10^5)^2$$

$$\boxed{E_{(p)} = 10^5\,\text{V/m}}$$

Resposta: a

18.

1) Cálculo do potencial gerado pelas duas cargas em **A**.

$$V_A = V_q + V_Q \Rightarrow V_A = K\frac{q}{3} + K\frac{Q}{5}$$

Observe o triângulo retângulo de catetos 3 m e 4 m, com hipotenusa igual a 5 m.

$$V_A = 9 \cdot 10^9\left(\frac{3 \cdot 10^{-9}}{3} + \frac{-3 \cdot 10^{-9}}{5}\right)$$

$$V_A = 9 \cdot 10^9(1 \cdot 10^{-9} - 0{,}6 \cdot 10^{-9}) \Rightarrow V_A = 3{,}6\,\text{V}$$

2) Cálculo do potencial gerado pelas duas cargas em **B**.

$$V_B = V_q + V_Q \Rightarrow V_B = K\frac{q}{5} + K\frac{Q}{3}$$

$$V_B = 9 \cdot 10^9\left(\frac{3 \cdot 10^{-9}}{5} - \frac{3 \cdot 10^{-9}}{3}\right) = 9(0{,}6 - 1)$$

$$V_B = -3{,}6\,\text{V}$$

Assim: $U_{AB} = V_A - V_B = [3{,}6 - (-3{,}6)]\,(\text{V})$

$$\boxed{U_{AB} = 7{,}2\,\text{V}}$$

Resposta: 7,2 V

19.

O potencial em **P** é o resultado dos potenciais gerados pelas duas cargas. A que se encontra na parte inferior não muda de lugar, não alterando o potencial em **P**. No entanto, a carga superior irá mudar de lugar. Assim, a variação de potencial em **P** será devida apenas à carga superior.

$$\Delta V_p = V_2 - V_1$$

$$\Delta V_p = K\frac{Q}{d_2} - K\frac{Q}{d_1} \Rightarrow \Delta V_p = k\left(\frac{\frac{1}{k}}{1 \cdot 10^{-2}} - \frac{\frac{1}{k}}{3 \cdot 10^{-2}}\right)$$

$$\Delta V_p = k \cdot \frac{1}{k}\left(10^2 - \frac{10^2}{3}\right) \Rightarrow \Delta V_p = 10^2\left(\frac{3-1}{3}\right)$$

$$\Delta V_p = \frac{200}{3}\,\text{V}$$

$$\boxed{\Delta V_p \cong 67\,\text{V}}$$

Resposta: d

Página 77

21.
O trabalho realizado pela força elétrica é dado por:
$\tau = q\,(V_A - V_B)$
Ao longo de uma equipotencial temos: $V_A = V_B$

Assim: $\boxed{\tau = 0}$

Resposta: Zero, porque a força elétrica é perpendicular à equipotencial.

22.
A circunferência de raio **R** é uma equipotencial do campo gerado pela carga **Q**, sendo $V_A = V_B$.
Assim, o trabalho realizado pelo campo no deslocamento AB é dado por:
$\tau_{AB} = q\,(V_A - V_B)$
Como $V_A = V_B$, temos:
$\boxed{\tau_{AB} = 0}$

Resposta: a

23.
a) Aplicando-se a expressão do potencial para a equipotencial **B**, temos:

$$V = K\frac{Q}{d} \Rightarrow 90 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{0{,}5}$$

$Q = +\,5{,}0 \cdot 10^{-9}$ C

$\boxed{Q = +\,5{,}0 \text{ nC}}$

b) Em **B**, temos:

$$E = K\frac{|Q|}{d^2} \Rightarrow E_B = 9 \cdot 10^9 \frac{5{,}0 \cdot 10^{-9}}{(0{,}5)^2} \text{ (V/m)}$$

$\boxed{E_B = 180 \text{ V/m}}$

c) Cálculo do trabalho do campo elétrico:
$\tau_{AC} = q\,(V_A - V_C)$
$\tau_{AC} = -2{,}0 \cdot 10^{-10}\,(20 - 120)$ (J)
$\boxed{\tau_{AC} = 2{,}0 \cdot 10^{-8} \text{ J}}$

Respostas: a) $+\,5{,}0$ nC; b) $180\,\frac{V}{m}$; c) $2{,}0 \cdot 10^{-8}$ J

24.
A intensidade do campo elétrico é proporcional à densidade de linhas de força.
Assim: $E_B > E_C > E_A$
Resposta: d

25.
Uma linha de força é orientada no sentido de potenciais decrescentes.
Assim: $\nu_A > \nu_B > \nu_C$
Resposta: b

26.
Observando a figura podemos concluir que:
1) No encontro das linhas de força encontramos uma carga positiva gerando campo. As linhas são de "afastamento".
2) O potencial em **A** é maior do que em **B**. No sentido da linha de força o potencial diminui.

Assim:
a) Falsa.

$$E = K\frac{|Q|}{d^2} \Rightarrow E_A > E_B$$

b) Falsa.
Elétron em **A** dirige-se para a carga positiva geradora do campo. Afasta-se de **B**.
c) Falsa.

$$V = K\frac{Q}{d} \Rightarrow V_A = 2\,V_B$$

d) Falsa.
A carga geradora do campo é positiva.
e) Verdadeira.
O próton em **B** irá espontaneamente afastar-se da carga geradora do campo (que é positiva). Assim, o trabalho realizado pelo campo elétrico, para levar o próton de **B** para **A**, será resistente.

Resposta: e

27.
A expressão do módulo do vetor campo elétrico uniforme é:
$E \cdot d = U$
Assim: $E \cdot 0{,}20 = 300 \Rightarrow E = 1\,500$ V/m
$\boxed{E = 1{,}5 \cdot 10^3 \text{ V/m}}$
Resposta: $1{,}5 \cdot 10^3$ V/m

28.
I) Verdadeira.
$E \cdot d = U \Rightarrow 200 \cdot d = 60 - 20 \Rightarrow 200d = 40 \Rightarrow \boxed{d = 0{,}2 \text{ m}}$
II) Verdadeira.
$\tau_{AC} = q\,(V_A - V_C) \Rightarrow \tau_{AC} = 6 \cdot 10^{-6}\,(60 - 20)$
$\boxed{\tau_{AC} = 24 \cdot 10^{-5} \text{ J}}$

III) Falsa.
Os pontos **B** e **C** pertencem à mesma equipotencial; assim:
$V_B = V_C$
e
$V_A - V_B = V_A - V_C$
Portanto: $\boxed{\tau_{AB} = \tau_{AC}}$

IV) Verdadeira.
Os pontos **D** e **A** pertencem à mesma equipotencial; assim:
$V_D = V_A$
$\boxed{\tau_{DA} = q\,(V_D - V_A) = 0}$

V) Falsa.
$E_p = q\,V$
Como: $V_C = V_B$
Então: $\boxed{E_{P_C} = E_{P_B}}$

Resposta: b

29.
Aplicando a expressão do campo elétrico uniforme, temos:
$E\,d = U \Rightarrow E\,d = (V_A - V_B) \Rightarrow 500 \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-2} = V_A - 0$
$\boxed{V_A = 25 \text{ V}}$

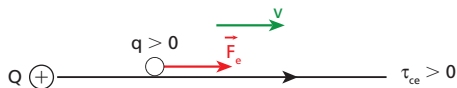
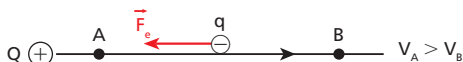
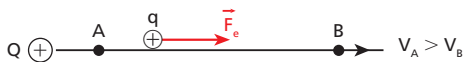
Lembrar que a placa ligada à Terra possui potencial igual a zero (por definição).

Resposta: 25 V

30.

a) Falsa.

Toda carga (positiva ou negativa), quando abandonada ($v_0 = 0$) em um campo eletrostático, move-se na direção e sentido da força que o campo aplica nela.

b) Verdadeira.

c) Verdadeira.

d) Verdadeira.

e) Verdadeira.

Ao percorrer uma curva fechada, a carga de prova retorna à sua posição inicial ($V_f = V_i$).

Assim:

$\tau = q\,(V_i - V_f)$

$\boxed{\tau = 0}$

Resposta: a

32.

a) O potencial gerado pelas cargas elétricas em um ponto **P** qualquer é dado por:

$V_P = V_1 + V_2 + V_3$

Assim: $V_A = K\dfrac{Q_1}{d_1} + K\dfrac{Q_2}{d_2} + K\dfrac{Q_3}{d_3}$

$V_A = 9{,}0 \cdot 10^9 \left(\dfrac{15 \cdot 10^{-9}}{3} + \dfrac{60 \cdot 10^{-9}}{10} - \dfrac{45 \cdot 10^{-9}}{9}\right)$

$V_A = 54\ V$

$V_B = 9{,}0 \cdot 10^9 \left(\dfrac{15 \cdot 10^{-9}}{5} + \dfrac{60 \cdot 10^{-9}}{12} - \dfrac{45 \cdot 10^{-9}}{5}\right)$

$V_B = -9{,}0\ V$

Portanto:

$U_{AB} = V_A - V_B = 54 - (-9{,}0) \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 63\ V}$

b) O trabalho realizado pelo campo elétrico é determinado por:

$\tau_{CE} = q\,(V_A - V_B)$

$\tau_{CE} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 63$

$\boxed{\tau_{CE} = 0{,}63\ J}$

Respostas: a) 63 V; b) 0,63 J

33.

Aplicando-se o Teorema da Energia Cinética, temos:

$\tau = \Delta E_c$

Como:

$\tau = F\,d = q\,E\,d$

e:

$E\,d = U$

Vem:

$\tau = q\,U$

Assim:

$\Delta E_c = q\,U$

$\dfrac{m\,v_B^2}{2} - \dfrac{m\,v_A^2}{2} = qU$

Mas: $v_A = 0$ (repouso)

Portanto:

$\dfrac{m\,v_B^2}{2} = q\,U$

$v_B^2 = \dfrac{2\,q\,U}{m} = \dfrac{2 \cdot 40 \cdot 10^{-6} \cdot 200}{1 \cdot 10^{-3}}$

$v_B^2 = 16$

$\boxed{v_B = 4\ m/s}$

Resposta: a

34.

O cálculo da energia potencial elétrica armazenada em sistema de duas cargas é determinado por:

$E_p = K\dfrac{Q\,q}{d}$

Assim:

$E_p = 9 \cdot 10^9\ \dfrac{5{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-1}}$ (J)

$\boxed{E_p = 3{,}0 \cdot 10^{-1}\ J}$

Resposta: $3{,}0 \cdot 10^{-1}$ J

35.

Utilizando o TEC (Teorema da Energia Cinética), vem:

$\tau = \Delta E_c$

Assim:

$q\,U = \Delta E_c$

Mas, em um CEU (campo elétrico uniforme), temos:

$Ed = U$

Portanto:

$\Delta E_c = q\,E\,d$

$2{,}4 \cdot 10^{-16} = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 3{,}0 \cdot 10^4 \cdot d$

$\boxed{d = 0{,}05\ m = 5\ cm}$

Resposta: 5 cm

36.

Pelo Teorema da Energia Cinética, temos: $\tau = \Delta E_c = q\,U$

Sendo: $1\ MV = 1 \cdot 10^6\ V$

Obtemos: $\Delta E_c = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \cdot 10^6$ (J)

$\boxed{\Delta E_c = 1{,}6 \cdot 10^{-13}\ J}$

Resposta: $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ J

37.

a) Linhas equipotenciais.

b) Maior

$V_R > V_S$

No sentido da linha de força, o potencial decresce.

c) A carga de prova positiva caminha, ao ser abandonada, no sentido da linha de força, de **P** para **S**. Sua energia potencial irá diminuir.

d) A carga de prova negativa, ao ser abandonada, caminhará no sentido oposto ao da orientação da linha de força, de **P** para **R**. Sua energia potencial irá diminuir.

Respostas: a) Linhas equipotenciais; b) Maior; c) **P** para **S**. Diminuirá; d) **P** para **R**. Diminuirá.

38.

(01) Incorreta.

$$\begin{cases} F = |q|\ E \\ F = m\ a \end{cases}$$

$$ma = |q|\ E \Rightarrow \boxed{a = \frac{|q|\ E}{m}}$$

Movimento acelerado.

(02) Correta.

(04) Incorreta.

$\tau_{AB} = q\ (V_A - V_B)$

Na equipotencial $V_A = V_B$

Assim:

$\boxed{\tau_{AB} = 0}$

(08) Incorreta.

Desloca-se espontaneamente para pontos de potencial menor.

(16) Correta.

$E_p = q\ V$

No ponto **B**, temos:

$2{,}0 \cdot 10^{-1} = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot V_B$

$\boxed{V_B = 100\ V}$

(32) Correta.

$\Delta E_p = E_{p_A} - E_{p_B} = \tau_{AB}$

$E_{p_A} - E_{p_B} = q\ (V_A - V_B)$

$E_{p_A} - E_{p_B} = q\ E\ d$

$E_{p_A} - 2{,}0 \cdot 10^{-1} = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 0{,}10$

$E_{p_A} - 2{,}0 \cdot 10^{-1} = 0{,}2 \cdot 10^{-1}$

$\boxed{E_{p_A} = 2{,}2 \cdot 10^{-1}\ J}$

Resposta: 50

39.

a) Em **C**, temos:

Cálculo dos módulos de $\vec{E}_1$ e $\vec{E}_2$.

$$E = K\ \frac{|Q|}{d^2}$$

$$E_1 = 9 \cdot 10^9\ \frac{1{,}0 \cdot 10^{-8}}{(0{,}10)^2} \Rightarrow E_1 = 9{,}0 \cdot 10^3\ \frac{N}{C}$$

$$E_2 = 9 \cdot 10^9\ \frac{2{,}0 \cdot 10^{-8}}{(0{,}20)^2} \Rightarrow E_2 = 4{,}5 \cdot 10^3\ \frac{N}{C}$$

Assim:

$E_c = E_1 - E_2 = (9{,}0 \cdot 10^3 - 4{,}5 \cdot 10^3)\ (N/C)$

$\boxed{E_c = 4{,}5 \cdot 10^3\ N/C}$

b) Trabalho do campo elétrico é calculado por:

$\tau_{BD} = g\ (V_B - V_D)$

Por simetria, concluímos que: $V_B = V_D$

Assim:

$\boxed{\tau_{BD} = 0}$

Respostas: a) 4 500 N/C; b) Zero

40.

a) Verdadeira.

Os pontos **A** e **C** pertencem a uma mesma equipotencial.

b) Verdadeira.

Como as linhas de força são de "afastamento", a carga **q** é positiva e o potencial diminui no sentido dela.

$V_A > V_B$

c) Verdadeira.

Sendo **q** positiva, a outra carga positiva irá se afastar de **q**.

d) Verdadeira.

$\tau_{AC} = q\ (V_A - V_C)$

Como $V_A = V_C$, temos

$\boxed{\tau_{AC} = 0}$

e) Falsa.

$$E = K\ \frac{|Q|}{d^2}$$

Se **d** aumenta, o módulo de $\vec{E}$ diminui.

Resposta: e

41.

A busca de uma situação de energia potencial mínima é a tendência de todo sistema físico.

Se duas partículas se repelem, essa situação ocorre com o afastamento. Se elas são aproximadas, a energia potencial aumenta.

Resposta: a

43.

Considerando que o campo elétrico estabelecido é uniforme, temos:

$E \cdot d = U$

$$d = \frac{U}{E} = \frac{9\ kV}{3{,}0 \cdot 10^6\ V/m} = \frac{9 \cdot 10^3}{3{,}0 \cdot 10^6}\ m$$

$d = 3 \cdot 10^{-3}\ m$

$\boxed{d = 3\ mm}$

Resposta: a

44.

(01) Falso.

$Ed = U \Rightarrow 10^2 \cdot d = (20 - 10)$

$d = 0,10$ m

(02) Verdadeiro.

$\tau = q\,(V_A - V_B) \quad \Rightarrow \quad \tau = 10^{-8}\,(20 - 10)$

$\tau = 10^{-7}$ J

(04) Verdadeiro.

Usando o Teorema da Energia Cinética, temos:

$\tau = \Delta E_c \quad \Rightarrow \quad \tau = E_{c_f} - E_{c_i}$

$\tau = \dfrac{mv^2}{2} - 0 \Rightarrow 10^{-7} = \dfrac{2 \cdot 10^{-9} \cdot v^2}{2}$

$\boxed{v = 10 \text{ m/s}}$

(08) Verdadeiro.

O campo elétrico é um campo conservativo, não altera a energia total do sistema.

(16) Falso.

$E_p = q\,U$

Os pontos **B** e **C** pertencem a uma mesma equipotencial ($V_B = V_C$)

Assim:

$E_{p_B} = E_{p_C}$

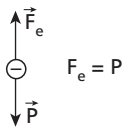
Resposta: 14

45.

Se a partícula encontra-se em equilíbrio, temos:

$\vec{F}_e$

$F_e = P$

$\vec{P}$

Assim: $|q|\,E = m\,g$

Mas: $E\,d = U \Rightarrow E = \dfrac{U}{d}$

Então: $|q|\,\dfrac{U}{d} = m\,g$

$m = \dfrac{|q|\,U}{d\,g}$

Portanto: $m = \dfrac{3,0 \cdot 10^{-6}\,(500 - 0)}{2,0 \cdot 10^{-2} \cdot 10}$ (kg)

$\boxed{m = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} = 7,5 \text{ g}}$

Resposta: 7,5 g

46.

Na região em que existe em CEU (campo elétrico uniforme), vale a relação:

$E\,d = U$

Do texto, temos:

$U = V_M - V_N$

$E = 120$ V/m

$d = 1,20$ m

Assim: $120 \cdot 1,20 = V_M - V_N = U_{MN} \Rightarrow \boxed{U_{MN} = 144 \text{ V}}$

Resposta: e

47.

a) Num CEU, vale:

$E\,d = U$

Assim:

$E \cdot 12,0 \cdot 10^{-2} = 15 \cdot 10^3$

$\boxed{E = 1,25 \cdot 10^5 \text{ V/m}}$

b) Aplicando-se o TEC (Teorema da Energia Cinética), vem:

$\tau = \Delta E_C$

$q\,U = E_{C_{final}} - E_{C_{inicial}}$

Mas:

$E_{C_{inicial}} = 0$

Os elétrons partem do repouso.

Assim:

$E_{C_{final}} = q\,U$

$E_{C_{final}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 15 \cdot 10^3$ (J)

$\boxed{E_{C_{final}} = 2,4 \cdot 10^{-15} \text{ J}}$

Respostas: a) $1,25 \cdot 10^5$ V/m; b) $2,4 \cdot 10^{-15}$ J

48.

No equilíbrio das gotículas, temos:

$F_e = P$

$|q|\;E = m\,g$

Mas, num CEU, vem:

$E\,d = U \Rightarrow E = \dfrac{U}{d}$

Assim:

$|q|\;\dfrac{U}{d} = m\,g \Rightarrow |q|\,\dfrac{6,0 \cdot 10^2}{1,6 \cdot 10^{-2}} = 1,2 \cdot 10^{-12} \cdot 10$

$|q| = 3,2 \cdot 10^{-16}$C

Sendo: $|q| = n\,e$

vem:

$3,2 \cdot 10^{-16} = n\;1,6 \cdot 10^{-19}$

$\boxed{n = 2,0 \cdot 10^3 \text{ elétrons}}$

Resposta: a

Página 84

50.

Em um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático, o potencial assume valores iguais em todos os pontos de sua superfície e também em seus pontos internos. Esse valor é diferente de zero.

Assim: $\boxed{\nu_A = \nu_B = \nu_C = \nu_D = \nu_E \neq 0}$

Resposta: d

51.

Em **A** (ponto interno) e em **B** (ponto da superfície), os potenciais assumem valores iguais. Em **C** (ponto externo), o potencial é maior. Observe que a esfera está eletrizada negativamente. Assim, o potencial aumenta quando nos afastamos das cargas (negativas).

$\boxed{\nu_A = \nu_B < \nu_C}$

Resposta: b

52.

(01) Incorreta.

Em pontos internos, a intensidade do campo elétrico é nula:

$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = 0$

Na superfície diferente de zero: $E_5 \neq 0$.

(02) Correta.

Nos pontos internos e da superfície, o valor do potencial elétrico é o mesmo:

$\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = \nu_4 = \nu_5 > 0$

Observe que as cargas são positivas.

(04) Incorreta.
$E_1 < E_5$ (correto)
$\nu_1 < \nu_5$ (incorreto)
Atenção que $E_1 = 0$, $E_5 > 0$, $\nu_1 = \nu_5 > 0$.
(08) Incorreta.
Se a esfera está eletrizada com cargas positivas, temos
$\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = \nu_4 = \nu_5 > 0$
(16) Correta.
Condutor em equilíbrio eletrostático, nos pontos internos o campo elétrico é nulo.
$E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = 0$
(32) Correta.
Na superfície, o vetor campo elétrico não é nulo.
$E_5 > 0$
Resposta: 50

54.

Para o cálculo do potencial de uma esfera eletrizada podemos utilizar:

$$V = K\frac{Q}{R}$$

Assim: $-120 \cdot 10^3 = 9{,}0 \cdot 10^9 \dfrac{Q}{0{,}60}$

$$\boxed{Q = -8{,}0 \cdot 10^{-6}\,C = -8{,}0\,\mu C}$$

Resposta: $-8{,}0\,\mu C$

55.

O ponto citado é interno à esfera:

Assim: $\boxed{E_P = 0}$

O potencial nesse ponto é o mesmo da superfície da esfera.
Assim:

$$V_P = K\frac{Q}{R}$$

$$V_P = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{4{,}0 \cdot 10^{-6}}{0{,}20} \Rightarrow \boxed{V_P = 1{,}8 \cdot 10^5\ V}$$

Resposta: Zero; $1{,}8 \cdot 10^5$ V

56.

a) Cálculo do potencial da esfera eletrizada:

$$V_e = K\frac{Q}{R}$$

$$V_e = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{8{,}0 \cdot 10^{-8}}{1{,}0} \Rightarrow \boxed{V_e = 720\ V}$$

Atenção que o raio é metade do diâmetro.

b) A 12 m do centro da esfera encontramos um ponto externo (raio da esfera = 1,0 m).
Assim:

$$V_{ext} = K\frac{Q}{d} \Rightarrow V_{ext} = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{8{,}0 \cdot 10^{-8}}{12}$$

$$\boxed{V_{ext} = 60\ V}$$

c) A 10 cm do centro da esfera encontramos um ponto interno à esfera. Seu potencial é igual ao da esfera.

Assim: $\boxed{V_{int} = V_e = 720\ V}$

Respostas: a) 720 V; b) 60 V; c) 720 V

57.

Uma linha de força "nasce" onde existe carga positiva e "morre" onde existe carga negativa. Em um condutor eletrizado são formados pares positivo-negativo que resultam carga zero. O que sobra irá definir o sinal da carga do condutor que poderá ser positivo ou negativo, não ocorrendo existir parte positiva e outra parte negativa quando o condutor estiver em equilíbrio eletrostático. Assim, uma linha de força não pode sair e chegar no mesmo condutor em equilíbrio.
Resposta: e

58.

a) Falsa.
Se **A** atrai **B** → eles possuem cargas de sinais opostos.
Se **B** repele **C** → eles possuem cargas de sinais iguais.
Assim, **A** e **C** possuem cargas de sinais opostos.
b) Falsa.
Se as linhas de força saem de **A**, a esfera está eletrizada com carga positiva. Se a esfera **B** tivesse carga negativa, essas linhas de força iriam para ela. Como essas linhas se afastam de **B**, **B** é positiva também.
c) Verdadeira.
Ao determinarmos a força resultante em **q**, observamos que ela é horizontal voltada para a direita. Essa orientação independe do sinal da carga de **q**.
d) Falsa.
As linhas equipotenciais são circunferências de centro no centro da esfera eletrizada.
e) Falsa.
O campo elétrico tem intensidade nula, o potencial é diferente de zero.
Resposta: c

59.

Aplica-se, a cada condutor esférico, a equação

$$V = K\frac{Q}{R}$$

Assim:

$$200 = 9 \cdot 10^9 \frac{2{,}0 \cdot 10^{-9}}{R_1} \Rightarrow R_1 = 0{,}09\,m$$

$$400 = 9 \cdot 10^9 \frac{4{,}0 \cdot 10^{-9}}{R_2} \Rightarrow R_2 = 0{,}09\,m$$

$$100 = 9 \cdot 10^9 \frac{6{,}0 \cdot 10^{-9}}{R_3} \Rightarrow R_3 = 0{,}54\,m$$

$$800 = 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-9}}{R_4} \Rightarrow R_4 = 0{,}135\,m$$

$$800 = 9 \cdot 10^9 \frac{16 \cdot 10^{-9}}{R_5} \Rightarrow R_5 = 0{,}18\,m$$

Portanto, o condutor 3 possui maior raio e maior diâmetro:
$d_3 = 1{,}08$ m
Resposta: c

61.

Do gráfico podemos dizer que o potencial da esfera é $-1{,}44 \cdot 10^3$ V. A esfera está eletrizada negativamente.
Assim:

$$V = K\frac{Q}{R}$$

$$-1{,}44 \cdot 10^3 = 9 \cdot 10^9 \frac{n \cdot (-1{,}6 \cdot 10^{-19})}{5{,}0 \cdot 10^{-2}}$$

$$\boxed{n = 5 \cdot 10^{10}\ \text{elétrons}}$$

Resposta: d

62.

a) Falso.
Do gráfico do campo elétrico, podemos calcular a carga do condutor.

$$E = K\frac{|Q|}{d^2}$$

$$9{,}0 \cdot 10^3 = 9 \cdot 10^9 \frac{|Q|}{(2{,}0)^2} \Rightarrow |Q| = 4{,}0 \cdot 10^{-6}\ C$$

Como o potencial é positivo, temos:

$$\boxed{Q = +4,0 \cdot 10^{-6}\,C}$$

b) Falso.
No gráfico do potencial observamos que no interior do condutor esférico o potencial é diferente de zero e positivo.

c) Verdadeiro.

$$V_c = K\,\frac{Q}{R} \Rightarrow V_c = 9 \cdot 10^9\,\frac{4,0 \cdot 10^{-6}}{1,0}$$

$$\boxed{V_c = 3,6 \cdot 10^4\,V}$$

d) Falso.

$$V = K\,\frac{Q}{d} \Rightarrow V_p = 9 \cdot 10^9\,\frac{4,0 \cdot 10^{-6}}{2,0}$$

$$\boxed{V_p = 1,8 \cdot 10^4\,V}$$

e) Falso.

$$E = K\,\frac{|Q|}{d^2} \Rightarrow E = 9 \cdot 10^9\,\frac{4,0 \cdot 10^{-6}}{(3,0)^2}$$

$$\boxed{E = 4,0 \cdot 10^3\,N/C}$$

Resposta: c

63.

1) Cálculo da carga **Q** da esfera:

$$V_{ext} = K\,\frac{Q}{d}$$

Para $V = 1,8 \cdot 10\,V$, temos $d = 100\,cm = 1\,m$; assim:

$$1,8 \cdot 10^4 = 9,0 \cdot 10^9\,\frac{Q}{1}$$

$$\boxed{Q = 2,0 \cdot 10^{-6}\,C = 2,0\,\mu C}$$

2) Cálculo do potencial **a**: $a = 9,0 \cdot 10^9\,\dfrac{2,0 \cdot 10^{-6}}{0,30}$

$$\boxed{a = 6,0 \cdot 10^4\,V}$$

3) Cálculo da distância **b**: $3,0 \cdot 10^4 = 9,0 \cdot 10^9\,\dfrac{2,0 \cdot 10^{-6}}{b}$

$$\boxed{b = 6,0 \cdot 10^{-1}\,m = 60\,cm}$$

Resposta: $a = 6,0 \cdot 10^4\,V$; $b = 60\,cm$; $Q = 2,0\,\mu C$

64.

a) Para um ponto externo à esfera, temos:

$$V_{ext} = K\,\frac{Q}{d} \Rightarrow V_{ext} = 9,0 \cdot 10^9\,\frac{2\,\pi\,R^2 \cdot 10^{-9}}{2R}$$

$$\boxed{V_{ext} = 9\,\pi\,R \quad (V)}$$

b) Densidade superficial de cargas da esfera: $\sigma = \dfrac{Q}{A} = \dfrac{Q}{4\,\pi\,R^2}$

Assim: $2,0 \cdot 10^{-9} = \dfrac{Q'}{4\,\pi\,R^2}$

$Q' = 80\,\pi\,R^2 \cdot 10^{-9}\,(C) \Rightarrow Q' = 4Q$

Em **P**, temos: $E_P = K\,\dfrac{Q}{(2R)^2}$

Em **M**, temos: $E_M = K\,\dfrac{Q}{(4R)^2} = K\,\dfrac{Q}{4\,(2R)^2} \Rightarrow E_M = \dfrac{E_p}{4}$

No início, em **P**, tínhamos: $E = K\,\dfrac{Q}{(2R)^2}$

No final, em **P**, quando a carga passou a ser $Q' = 4Q$, temos:

$$E_p = K\,\frac{4Q}{(2R)^2} = 4E$$

No final, em **M**, temos: $E_M = \dfrac{E_p}{4} = \dfrac{4E}{4} \Rightarrow \boxed{E_M = E}$

Respostas: a) $V_p = 9\,\pi\,R$; b) $E_m = E$

Página 89

65.

I) Incorreta.
A capacitância de um condutor depende apenas das suas características geométricas (forma e tamanho) e do meio em que se encontra.

II) Correta.
Para o cálculo da capacitância de um condutor esférico, temos:

$$C = \frac{R}{K}$$

Em que **R** é o raio da esfera.

III) Correta.
O valor da capacitância do condutor independe do material de que é feito.

Resposta: c

66.

1) Potencial da esfera eletrizada.

$$V = K\,\frac{Q}{R}$$

Se dobrarmos o raio **R**, o potencial cai à metade do valor inicial.

$$V_{final} = \frac{V_{inicial}}{2}$$

2) Capacitância da esfera:

$$C = \frac{R}{K}$$

Se dobrarmos o raio **R**, a capacitância também dobra.

$C_{final} = 2C_{inicial}$

Resposta: b

67.

1) Potencial da esfera eletrizada

$$V = K\,\frac{Q}{R}$$

Se a carga elétrica dobra de valor, o potencial da esfera também dobra.

$V_f = 2V_i$

2) Capacitância da esfera

$$C = \frac{R}{K}$$

Se a carga elétrica dobra, a capacitância da esfera continua a mesma.

$C_f = C_i$

Resposta: d

69.

a) $C = \dfrac{Q}{V} \Rightarrow C = \dfrac{3,0 \cdot 10^{-6}}{5,0 \cdot 10^3}$

$$\boxed{C = 0,6 \cdot 10^{-9}\,F = 0,6\,nF}$$

b) Para um condutor esférico, vale:

$$C = \frac{R}{K}$$

Assim:

$0{,}6 \cdot 10^{-9} = \dfrac{R}{9{,}0 \cdot 10^{9}} \Rightarrow \boxed{R = 5{,}4 \text{ m}}$

Respostas: a) 0,6 nF; b) 5,4 m

70.

Para um condutor esférico, temos:

$C = \dfrac{R}{K} \Rightarrow C = \dfrac{6\,400\,000}{9{,}0 \cdot 10^{9}} \text{ (F)} \Rightarrow C \cong 0{,}000711 \text{ F}$

$\boxed{C \cong 711 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cong 711 \ \mu\text{F}}$

Resposta: 711 μF

71.

Quando conectamos dois condutores eletrizados, há uma redistribuição das cargas elétricas, até que seus potenciais tornam-se iguais.

Resposta: d

72.

I) Correta.
O equilíbrio eletrostático ocorre quando os potenciais das esferas se tornam iguais.

II) Incorreta.
A carga elétrica adquirida é proporcional à capacitância do condutor. A capacitância do condutor esférico é proporcional ao seu raio.

$Q = C\,V \Rightarrow C = \dfrac{R}{K}$

Assim: $Q = R\,\dfrac{V}{K}$

A carga adquirida é maior na esfera de raio maior.

III) Incorreta.
No equilíbrio eletrostático, os potenciais finais são iguais.

IV) Correta.
Os potenciais finais são iguais e as cargas elétricas são proporcionais aos raios das esferas.

Resposta: I e IV

73.

a) Elétrons passarão de **B** para **A**.

b) Como as esferas possuem raios iguais, suas capacitâncias também são iguais, adquirindo cargas iguais no final.
Assim:

$Q_f = \dfrac{Q_A + Q_B}{2} = \dfrac{6\,\mu + (-4\,\mu)}{2} \Rightarrow \boxed{Q_A' = Q_B' = 1\,\mu\text{C}}$

c) $Q'B = 1\,\mu\text{C}$

d) No final, com a chave fechada, os potenciais das esferas serão iguais:

$\boxed{\nu_A' = \nu_B'}$

Respostas: a) De **B** para **A**; b) 1 μC; c) 1 μC; d) $\nu_A' = \nu_B'$

75.

I) Incorreta.
Um condutor neutro pode adquirir energia potencial elétrica ao ser posicionado em uma região onde existe um campo elétrico gerado por outro condutor eletrizado.

II) Incorreta.
A energia potencial elétrica de um condutor eletrizado é função da sua carga elétrica e também da sua capacitância.

$E_P = \dfrac{Q^2}{2C}$

III) Incorreta.

$E_P = \dfrac{Q^2}{2C}$

Assim: $E_A = \dfrac{Q_A{}^2}{2C_A} = \dfrac{(2Q_B)^2}{2\,(2C_B)} = \dfrac{4Q_B{}^2}{2 \cdot 2C_B} = \dfrac{2Q_B{}^2}{2C_B} = 2\,E_B$

$\boxed{E_A = 2\,E_B}$

Resposta: e

76.

Para o cálculo da energia potencial elétrica de um condutor, usamos:

$E_P = \dfrac{Q^2}{2C}$

Assim: $5{,}0 \cdot 10^{5} = \dfrac{Q^2}{2 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-12}}$

Atenção que: $C = 4{,}0 \text{ pF} = 4{,}0 \cdot 10^{-12} \text{ F}$

Portanto: $Q^2 = 4{,}0 \cdot 10^{-6} \Rightarrow \boxed{Q = 2{,}0 \cdot 10^{-3} \text{ C} = 2{,}0 \text{ mC}}$

Resposta: 2,0 mC

77.

$E_P = \dfrac{Q^2}{2C}$

Assim:

$1{,}0 \cdot 10^{-3} = \dfrac{(4{,}0 \cdot 10^{-6})^2}{2\,C}$

$\boxed{C = 8{,}0 \cdot 10^{-9} \text{ F} = 8{,}0 \text{ nF}}$

Resposta: 8,0 nF

78.

Energia eletrostática armazenada em um condutor:

$E_p = \dfrac{C\,V^2}{2}$

Para um condutor esférico, vale:

$C = \dfrac{R}{K}$ e $K = \dfrac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0}$

Assim:

$E_p = \dfrac{R\,V^2}{2K} = \dfrac{4\,\pi\,\varepsilon_0\,R\,V^2}{2}$

$\boxed{E_p = 2\,\pi\,\varepsilon_0\,R\,V^2}$

Resposta: e

80.

1) Cálculo do potencial de equilíbrio após o contato entre as esferas.

$V_e = \dfrac{Q_x + Q_y}{C_x + C_y}$

com:

$C = \dfrac{R}{K}$

Assim:

$V_e = \dfrac{2Q + Q}{\dfrac{R}{K} + \dfrac{2R}{K}} = \dfrac{3\,Q\,K}{3R}$

$V_c = \dfrac{Q\,K}{R}$

2) Carga elétrica final em cada condutor.

$Q = C\,V$

$Q_x = \dfrac{R}{K} \cdot \dfrac{Q\,K}{R} \Rightarrow Q_x = Q$

$Q_y = \dfrac{2R}{K} \cdot \dfrac{Q\,K}{R} \Rightarrow Q_y = 2Q$

Resposta: a

81.

a) Para cálculo da capacitância de condutores eletrizados, temos:

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$C_A = \frac{Q_A}{V_A} = \frac{12 \cdot 10^{-6}}{300} (F) \Rightarrow \boxed{C_A = 40 \cdot 10^{-9}\,F = 40\,nF}$$

$$C_B = \frac{Q_B}{V_B} = \frac{9{,}0 \cdot 10^{-6}}{450} (F) \Rightarrow \boxed{C_B = 20 \cdot 10^{-9}\,F = 20\,nF}$$

b) Após o contato, o potencial comum de equilíbrio é dado por:

$$V_e = \frac{Q_A + Q_B}{C_A + C_B} = \frac{12 \cdot 10^{-6} + 9{,}0 \cdot 10^{-6}}{40 \cdot 10^{-9} + 20 \cdot 10^{-9}}$$

$$V_e = \frac{21 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-9}} (V) \Rightarrow \boxed{V_e = 350\,V}$$

c) Em cada condutor encontraremos, no final, a carga.

$Q = C\,V_e$

Assim: $Q'_A = C_A \cdot V_e = 40 \cdot 10^{-9} \cdot 350$

$$\boxed{Q'_A = 14 \cdot 10^{-6}\,C = 14\mu C}$$

$Q'_B = C_B \cdot V_e = 2{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot 350$

$$\boxed{Q'_B = 7{,}0 \cdot 10^{-6}\,C = 7{,}0\,\mu C}$$

Respostas: a) 40 nF e 20 nF; b) 350 V; c) 14 μC e 7,0 μC

82.

a) Potencial de uma esfera eletrizada: $V = K\frac{Q}{r}$

Assim: $V_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-9}}{0{,}05} \Rightarrow \boxed{V_1 = 360\,V}$

b) O potencial final de equilíbrio é dado por:

$$V_e = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$$

Como os condutores são esferas, as capacitâncias são determinadas por: $C = \frac{r}{K}$

Assim:

$$V_e = \frac{Q_1 + Q_2}{\frac{r_1}{K} + \frac{r_2}{K}} = K\frac{Q_1 + Q_2}{(r_1 + r_2)} \Rightarrow V_e = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-9} + 0}{(0{,}05 + 0{,}10)}$$

$$\boxed{V_e = 120\,V}$$

Respostas: a) 360 V; b) 120 V

Página 100

83.

Para ocorrer o representado na figura devemos ter:

1) Ambas as esferas (**A** e **B**) eletrizadas com cargas elétricas de sinais opostos. Esfera **A** positiva e esfera **B** negativa ou **A** negativa e **B** positiva.
2) Esfera **A** neutra e esfera **B** eletrizada (positiva ou negativa).
3) Esfera **A** eletrizada (positiva ou negativa) e esfera **B** neutra.

Resposta: e

84.

I) Falso.
Quando há atração, uma das esferas pode estar neutra. Isto ocorre devido à separação de cargas em sua superfície, por indução.
Quando há repulsão, as duas esferas sempre estarão eletrizadas com cargas elétricas de mesmo sinal.

II) Correto.
Para a repulsão as esferas devem estar eletrizadas com cargas elétricas de mesmo sinal.

III) Falso.
Na repulsão, ambas as esferas possuem cargas elétricas de mesmo sinal.

Resposta: b

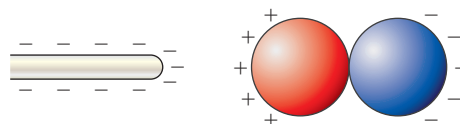
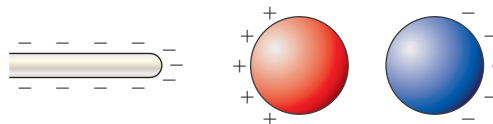
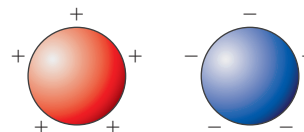
85.

1) No atritamento das esferas **A** e **B**, a **B** ganha elétrons.
Esfera **A** → positiva
Esfera **B** → negativa
Esfera **C** → neutra

2) Quando o bastão eletrizado positivamente é aproximado de uma das esferas, deve ocorrer atração.
Assim, devemos ter:
– bastão positivo se aproximando da esfera **B** (negativa);
– bastão positivo se aproximando da esfera **C** (neutra).

Resposta: b

86.

1) (II) Colocar as esferas em contato.
2) (I) Aproximar o bastão de uma das esferas.

3) (III) Separar as esferas.

4) (IV) Afastar o bastão.

Resposta: e

87.

I) Verdadeiro.
Como a esfera **A** está em contato com a Terra, seu potencial é igual ao da Terra. Potencial nulo.

II) Falso.
As cargas existentes em **B**, por indução, produzem redistribuição das cargas em **A**. Isso modifica o potencial em **A**. Dessa forma, cargas negativas irão subir da Terra para neutralizar esse potencial. A esfera **A** ficará com potencial nulo, porém com carga elétrica diferente de zero.

III) Falso.
Como a carga (negativa) total da esfera **A** é diferente de zero, ela será atraída pela esfera **B**. A força de atração não é nula.

Resposta: a

88.

Por indução, a esfera do eletroscópio ficará eletrizada negativamente e as folhas positivamente.

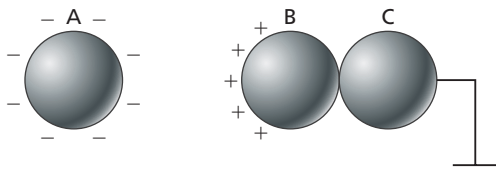
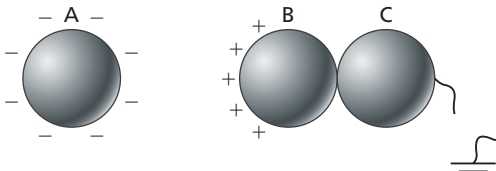
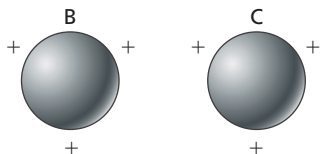
Resposta: c

89.

Inicialmente o dispositivo do eletroscópio estava neutro. No contato com a esfera eletrizada positivamente, o dispositivo perderá elétrons e se tornará carregado com carga positiva. Ao afastarmos a esfera, as cargas positivas se distribuirão ao longo do dispositivo.

Resposta: b

90.

1) No início, por indução, temos:

2) Desliga-se **C** da terra.

3) Afastamos **A** e separamos **B** e **C**.

A esfera **A** continua negativa.

$Q_A < 0$; $Q_B > 0$ e $Q_C > 0$

Resposta: a

91.

1) No Tópico 1, **Cargas elétricas**, encontramos uma tabela denominada série triboelétrica, em que consta uma relação de materiais, em sequência, pela capacidade de receber elétrons. Nela observamos que o vidro perde elétrons para a lã, isto é, a lã é mais "ávida" por elétrons do que o vidro. Assim, no atrito a lã retira elétrons do vidro e o bastão torna-se eletrizado positivamente.
2) A atração exercida pelas cargas positivas do bastão sobre os elétrons da esfera condutora provocará o acúmulo de cargas negativas na face próxima ao bastão. Em contrapartida, a repulsão sobre as cargas positivas da esfera provocará um acúmulo delas na face oposta.
3) No interior da esfera, quando em equilíbrio eletrostático, a intensidade do campo elétrico resultante é sempre nula. Atenção que, no interior da esfera, encontramos três vetores campo elétrico em cada ponto: um deles produzido pelas cargas positivas do bastão; outro pelas cargas negativas de uma das faces da esfera; e outro pelas cargas positivas da outra face da esfera. A resultante desses três vetores é nula.
4) No início, o potencial da esfera é nulo. Com a aproximação do bastão eletrizado, pontos diferentes da esfera passam a apresentar potenciais diferentes. Isso provoca a movimentação de cargas na esfera para tornar o potencial igual em todos os pontos; é a indução. Assim, o potencial da esfera, após a indução, quando o equilíbrio já está restabelecido, é positivo. Note que as cargas do bastão provocam esse potencial na esfera.

Resposta: Veja resolução acima.

92.

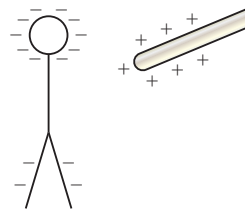
O local de contato é indiferente, podendo ser **R**, **S** ou **P**, ou ainda qualquer outro ponto da superfície da esfera.

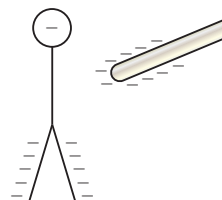
No contato com a terra, deverão subir elétrons para neutralizar o campo elétrico gerado pelas cargas positivas do bastão.

Resposta: e

93.

Para o descrito na figura, temos duas situações a considerar.

1) O bastão está eletrizado positivamente.

Cargas negativas sobem até a esfera do eletroscópio, diminuindo a quantidade dessas cargas (negativas) nas folhas. Assim, as folhas irão se repelir com menor intensidade, aproximando-se.

2) O bastão está eletrizado negativamente.

Cargas negativas são repelidas, descendo para as folhas (a outra extremidade). Assim, aumentando as cargas negativas nas folhas, elas irão se repelir mais intensamente, afastando-se mais.

Resposta: d

94.

I) Verdadeira.
Antes da aproximação do bastão, o eletroscópio foi eletrizado com carga $-$**Q**. Assim essas cargas negativas irão se distribuir pela parte metálica, e uma parcela delas irá para as lâminas, que se repelem.

II) Falsa.
Quando o bastão se aproxima, cargas negativas são atraídas e se acumulam na esfera. Como parte das cargas que estavam nas folhas subiram, estas ficam menos eletrizadas e se aproximam (a repulsão entre elas diminui).

III) Falsa.
Ver a explicação do item II.

IV) Verdadeira.
Quando o bastão tocar na esfera, cargas negativas que estavam no eletroscópio migrarão para o bastão. Assim as folhas ficam menos eletrizadas e se aproximam. Observe que a repulsão entre elas diminui bastante.

Respostas: I) V; II) F; III) F; IV) V

96.

a) O campo elétrico no ponto **M** é devido apenas às cargas da esfera menor. Observe que **M** é interno à esfera maior.
Assim:

$$E_M = K \frac{|Q_A|}{d_M^2}$$

$$E_M = 9{,}0 \cdot 10^9 \frac{1{,}6 \cdot 10^{-6}}{(0{,}40)^2} \Rightarrow \boxed{E_M = 9{,}0 \cdot 10^4 \ \text{N/C}}$$

b) O ponto **N** faz parte da esfera **B** e, assim, o campo elétrico resultante neste ponto é nulo.

$$\boxed{E_N = 0}$$

c) O ponto **S** é externo às esferas.

Assim: $E_s = K \dfrac{|Q_A + Q_B|}{d_s^2}$

$E_s = 9{,}0 \cdot 10^9 \cdot \dfrac{|1{,}6 \cdot 10^{-6} - 6{,}0 \cdot 10^{-6}|}{(1{,}2)^2}$

$\boxed{E_S \cong 2{,}8 \cdot 10^4 \text{ N/C}}$

Respostas: a) $9{,}0 \cdot 10^4$ N/C; b) Zero; c) $2{,}8 \cdot 10^4$ N/C

97.

a) Falsa. Existindo carga elétrica no interior do condutor, o campo elétrico não é nulo nessa região.
b) Falsa. As linhas de força devem ser perpendiculares à esfera e à superfície interna do condutor. Assim, as linhas de força não podem ser radiais.
c) Verdadeira.
d) Falsa. As linhas de força são perpendiculares à superfície interna do condutor.
e) Falsa. Na superfície interna do condutor oco, a carga elétrica induzida é $-Q$.

Resposta: c

99.

a) Incorreta.
Onde existe material dos condutores, o campo elétrico é nulo. No espaço entre a superfície interna do condutor **A** e a superfície do condutor **B**, o campo elétrico não é nulo.
b) Incorreta.
Para $x = 0$, o ponto encontra-se no centro dos condutores. O campo elétrico é nulo e o potencial é diferente de zero (positivo).
c) Correta.
Ao nos afastarmos de cargas positivas, o potencial elétrico diminui. Assim, para $x = R_B$, estamos na superfície de **B** e, para $x = R_1$, estamos na superfície interna de **A**.
$V_B > V_1$
d) Incorreta.
Para $x > R_2$, estamos em um ponto externo à esfera **A**, e o campo elétrico não é nulo.
e) Incorreta.
Para $R_1 \leqslant x \leqslant R_2$, estamos no material de **A**, em que o campo elétrico é nulo e o potencial elétrico diferente de zero.

Resposta: c

100.

Na esfera **A**:

$V_{(A)} + V_A + V_B \Rightarrow V_{(A)} = K \dfrac{Q_A}{R_A} + \dfrac{Q_B}{R_B}$

$V_{(A)} = 9{,}0 \cdot 10^9 \left[\dfrac{(+4{,}0 \cdot 10^{-6})}{0{,}30} + \dfrac{(-4{,}0 \cdot 10^{-6})}{0{,}80}\right]$

$\boxed{V_{(A)} = 7{,}5 \cdot 10^4 \text{ V}}$

b) Como a esfera **B** está ligada à terra, seu potencial é nulo.

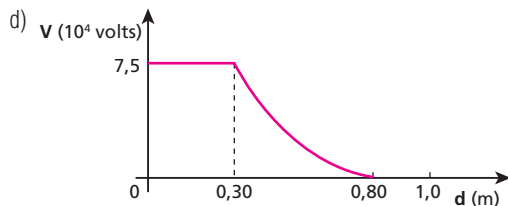
$\boxed{V_{(B)} = 0}$

c) O ponto **P** é interno à esfera **B** e externo à esfera **A**. Assim:

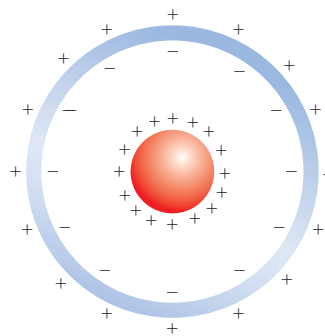
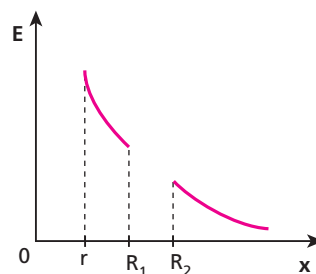
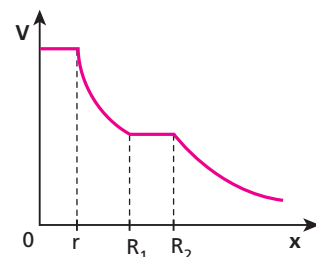
$V_p = K \dfrac{Q_A}{d} + K \dfrac{Q_B}{R_B}$

$V_p = 9{,}0 \cdot 10^9 \left[\dfrac{(4{,}0 \cdot 10^{-6})}{0{,}50} + \dfrac{(-4{,}0 \cdot 10^{-6})}{0{,}80}\right]$

$\boxed{V_p = 2{,}7 \cdot 10^4 \text{ V}}$

d)

Respostas: a) $7{,}5 \cdot 10^4$ V; b) Zero; c) $2{,}7 \cdot 10^4$ V; d) Veja o gráfico na resolução.

101.

As cargas elétricas positivas, que se encontram na superfície do condutor interno, irão provocar, por indução, uma redistribuição de cargas na esfera externa.

1) No interior de um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é nulo. Observe que, na parte em que existe o material condutor, as cargas elétricas podem se dispor para anular o campo interno.
Assim, o diagrama da variação do campo elétrico **E** é mais bem representado por:

2) O potencial elétrico varia na parte vazia e é constante na parte em que existe o material condutor. Assim, o diagrama da variação do potencial elétrico é mais bem representado por:

Resposta: Gráficos II e IV

102.

Pelo Princípio da Conservação da Energia, podemos afirmar que a energia cinética existente no início no próton se transforma em energia potencial no sistema.

Assim: $E_{C_i} = E_{P_f}$

Sendo: $E_C = \frac{m\,v^2}{2} \Rightarrow E_P = K\,\frac{Q\,q}{d}$

Temos: $\frac{m\,v^2}{2} = K\,\frac{Q\,q}{d} \Rightarrow d = \frac{2\,K\,Q\,q}{m\,v^2}$

$$d = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9\,(79 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19})\,(1{,}6 \cdot 10^{-19})}{2 \cdot 10^{-27} \cdot (1{,}6 \cdot 10^7)^2}$$

$\boxed{d = 7{,}1 \cdot 10^{-14}\,m}$

Resposta: $7{,}1 \cdot 10^{-14}$ m

103.

1) No início:

$$E_p = K\,\frac{Q\,q}{d}$$

$$E_p = 9 \cdot 10^9\,\frac{1{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-8}}{0{,}10} \Rightarrow E_p = 1{,}8 \cdot 10^{-4}\,J$$

2) No final:

$$E_p - 1{,}35 \cdot 10^{-4} = K\,\frac{Q\,q}{d + \Delta d}$$

Assim:

$$1{,}8 \cdot 10^{-4} - 1{,}35 \cdot 10^{-4} = 9 \cdot 10^9\,\frac{1{,}0 \cdot 10^{-7} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-8}}{0{,}10 + \Delta d}$$

$$0{,}45 \cdot 10^{-4} = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-5}}{0{,}10 + \Delta d}$$

$0{,}10 + \Delta d = 0{,}40$

$\boxed{\Delta d = 0{,}30\,m = 30\,cm}$

Resposta: 30 cm

104.

No interior e na superfície da esfera condutora eletrizada o potencial permanece constante. Ao sair da esfera o potencial cresce (a carga da esfera é negativa) à medida que nos afastamos de uma superfície, na razão inversa da distância.

$$V = K\,\frac{Q}{d}$$

Resposta: c

105.

Podemos observar que os ângulos do triângulo retângulo valem 45°. Assim, os dois catetos são iguais e valem **H**. A carga elétrica **Q** (em **C**) gera potenciais iguais em **A** e **B** ($V_A = V_B$).

Portanto, o trabalho do campo elétrico sobre **q**, no deslocamento de **A** para **B**, é nulo:

$\tau_{AB} = q\,(V_A - V_B) = 0$

Dessa forma, a energia cinética adquirida pela partícula P_2 depende apenas do trabalho realizado pela força gravitacional (peso):

$\boxed{\Delta E_c = \tau_P = m\,g\,H}$

Resposta: b

106.

1) Cálculo dos potenciais nos pontos **A** e **B**, gerados por q_1 e q_2.

$$V_A = K\,\frac{q_1}{4} + K\,\frac{q_2}{5}$$

$$V_B = K\,\frac{q_1}{5} + K\,\frac{q_2}{4}$$

2) Trabalho do campo elétrico na mudança de posição da carga q_3 de A para B.

$\tau_{CE} = q_3\,(V_A - V_B)$

$$\tau_{CE} = q_3\left(K\,\frac{q_1}{4} + K\,\frac{q_2}{5} - K\,\frac{q_1}{5} - K\,\frac{q_2}{4}\right)$$

$$\tau_{CE} = Kq_3\left(\frac{q_1}{20} - \frac{q_2}{20}\right)$$

Como: $K = \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0}$

Temos:

$$\tau_{CE} = \frac{q_3}{80\,\pi\,\varepsilon_0}(q_1 - q_2)$$

3) Cálculo do trabalho do operador externo.

$\tau_{op} = -\tau_{CE}$

Assim: $\boxed{\tau_{op} = \frac{q_3}{80\,\pi\,\varepsilon_0}(q_2 - q_1)}$

Resposta: b

107.

a) Num CEU (campo elétrico uniforme), vale:

$E\,d = U$

Assim:

$2{,}4 \cdot 10^4 \cdot 0{,}10 = U$

$\boxed{U = 2{,}4 \cdot 10^3\,V}$

b) Ao longo do tubo, o movimento da partícula é uniforme.

Assim:

$\Delta s = v\,t$

$3{,}5 = 0{,}7\,t$

$t = 5\,s$

Portanto, as partículas retidas no coletor obedecem à condição:

$t \leqslant 5\,s$

Na transversal, o movimento é uniformemente variado (devido ao campo elétrico uniforme).

$$\Delta s = v_0\,t + \frac{\gamma\,t^2}{2} \Rightarrow d = \frac{at^2}{2}$$

As partículas que mais demoram a chegar a uma das placas é a mais afastada dela, quando d = 10 cm.

Assim:

$$0{,}10 = \frac{a\,t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{0{,}20}{a}}$$

$$\sqrt{\frac{0{,}20}{a}} \leqslant 5 \Rightarrow \frac{0{,}20}{a} \leqslant 25$$

$a \geqslant 8{,}0 \cdot 10^{-3}\,m/s$

As partículas de maior massa se movem com a mínima aceleração.

Assim:

$F = F_e$

$ma = |q|\,E$

$m_{máx} = 80 \cdot 10^{-3} = 1{,}6 \cdot 10^{-18} \cdot 24 \cdot 10^4$

$\boxed{m_{máx} = 4{,}8 \cdot 10^{-12}\,kg}$

Respostas: a) $2{,}4 \cdot 10^3$ V; b) $4{,}8 \cdot 10^{-12}$ kg

108.

1) A carga **Q** irá gerar potencial elétrico em **A** e em **B**:

$V = K \frac{Q}{d}$

$V_A = 9 \cdot 10^9 \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}}{(3{,}0 \cdot 10^{-3})}$

$V_A = 9{,}0 \cdot 10^3$ V

$V_B = 9 \cdot 10^9 \frac{3{,}0 \cdot 10^{-9}}{(9{,}0 \cdot 10^{-3})}$

$V_B = 3{,}0 \cdot 10^3$ V

2) A variação de energia cinética é devida ao trabalho realizado pelo corpo elétrico.

$\Delta E_c = \tau = q\,(V_A - V_B)$

$\Delta E_c = e\,(9{,}0 \cdot 10^3 - 3{,}0 \cdot 10^3)$

$E_{c_f} - E_{c_i} = e\; 6{,}0 \cdot 10^3$

Mas $E_{c_i} = 0$.

Então:

$E_{c_f} = 6{,}0 \cdot 10^3$ eV

$\boxed{E_{c_f} = 6{,}0 \text{ keV}}$

Resposta: b

109.

a) Ao longo do diâmetro da célula, temos:

$U = \Delta V_m + \Delta V_m = 2\Delta V_m$

Mas, num CEU (campo elétrico uniforme), vale:

$E\,d = U$

Assim:

$E\,d = 2\Delta V_m$

$E\; 1 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 1$

$\boxed{E = 2 \cdot 10^6 \text{ V/m}}$

b) Ao atravessar a célula, o ganho de energia de um elétron é dado por:

$\Delta E = \tau = q\,U$

Sendo: $q = e$

$U = 2V$

temos:

$\boxed{\Delta E = 2 \text{ eV}}$

Respostas: a) $2 \cdot 10^6$ V/m; b) 2 eV

110.

(01) Incorreta.

Sendo $E\,d = U$, temos: $E \cdot 0{,}10 = 10 \Rightarrow E = 100$ V/m

(02) Correta.

No equilíbrio, vale:

$F_e = P$

$|q|\,E = m\,g$

$|q| \cdot 100 = 0{,}100 \cdot 10 \Rightarrow |q| = 1 \cdot 10^{-2}$ C

$\boxed{q = -1 \cdot 10^{-2} \text{C}}$

(04) Incorreta.

No CEU, vale: $E\,d = U$

Assim, dobrando-se a diferença de potencial (**U**), dobra-se a intensidade do campo elétrico (**E**).

Sendo: $F_e = P$

$|q|\;E = P$

se $E' = 2E$ e **P** constante, devemos ter: $\boxed{|q'| = \frac{|q|}{2}}$

(08) Correta.

Na subida acelerada da esfera, devemos ter: $F_e - P = m\,a$

Assim:

$1{,}01 \cdot |q|\;E - m\,g = m\,a$

$1{,}01 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 100 - 0{,}100 \cdot 10 = 0{,}100 \cdot a$

$1{,}01 - 1 = 0{,}100 \cdot a$

$0{,}01 = 0{,}1 \cdot a \Rightarrow a = 0{,}10 \text{ m/s}^2$

Portanto, no MUV, temos:

$\Delta s = v \cdot t + \frac{at^2}{2} \Rightarrow 0{,}05 = 0 + \frac{0{,}10 \cdot t^2}{2} \Rightarrow t^2 = 1$

$\boxed{t = 1{,}0 \text{ s}}$

(16) Correta.

Para o cálculo da velocidade, usaremos:

$v = v_0 + a\,t \Rightarrow v = 0 + 0{,}1 \cdot 1{,}0 \Rightarrow \boxed{v = 0{,}1 \text{ m/s}}$

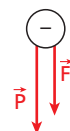
(32) Correta.

$F_e + P = m\,a$

$|q|\;E + m\,g = m\,a$

$a = \frac{|q|\;E}{m} + g$

$a = \left(\frac{1 \cdot 10^{-2} \cdot 100}{0{,}100} + 10\right)$

$\boxed{a = 20 \text{ m/s}^2}$

Resposta: 58

111.

a) Ao tocar a tampa metálica, o bastão retira elétrons, tornando a tampa, o fio de cobre e a fita de alumínio eletrizados positivamente.
As duas partes da fita de alumínio, estando eletrizados com cargas de mesmo sinal (positivas), repelem-se, ficando afastadas de um ângulo α_1.

b) Quando o bastão, eletrizado positivamente, se aproxima da tampa metálica, provocará, por indução, o "afastamento" de cargas positivas para a fita de alumínio. Assim, a carga total na fita aumentará, o que provocará um afastamento mais intenso entre as partes dessa fita. Logo, o ângulo α_2 formado será maior que o α_1 anterior.

Respostas: a) Eletrização; repulsão; b) $\alpha_2 > \alpha_1$

112.

(01) Correta.

O campo elétrico entre as placas é praticamente uniforme.

(02) Correta.

(04) Correta.

$F_e = |q|\;E$

(08) Correta.

A força resistiva é maior no íon maior.

(16) Correta.

Como os íons param, a energia dissipada é igual ao trabalho realizado pelo campo elétrico.

$\Delta E_d = \tau = q\,(V_{início} - V_{final})$

Como entre as placas (d = 0,2 m) a tensão é 50 J/C, se o íon percorre d = 0,1 m, o potencial do ponto de chegada do íon é metade ($E\,d = U$).

Assim:

$U = (V_{início} - V_{final}) = 25$ J/C

Portanto:

$\Delta E_d = 8{,}0 \cdot 10^{-19} \cdot 25$

$\Delta E_d = 200 \cdot 10^{-19}$ J

$\boxed{\Delta E_d = 2 \cdot 10^{-17} \text{ J}}$

Resposta: 31

113.

Após a eletrização das esferas, no equilíbrio eletrostático, o potencial comum é dado por:

$$V_e = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$

Em que C_1 e C_2 são as capacitâncias das esferas, sendo calculadas por: $C = \frac{R}{K}$

$$\text{Assim: } V_e = \frac{Q}{\frac{a}{K} + \frac{2a}{K}} = \frac{KQ}{3a}$$

A carga de cada esfera vale:

$$Q_1' = C_1 \cdot V_e = \frac{a}{K} \cdot \frac{KQ}{3a} \Rightarrow Q_1' = \frac{Q}{3}$$

$$Q_2' = Q - \frac{Q}{3} \Rightarrow Q_2' = \frac{2}{3} Q$$

Sendo a densidade superficial de cargas dada por:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4 \pi R^2}$$

Podemos escrever:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\frac{Q_1'}{A_1}}{\frac{Q_2'}{A_2}} = \frac{Q_1' A_2}{Q_2' A_1} \Rightarrow \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\frac{Q}{3} \cdot 4 \pi (2a)^2}{\frac{2Q}{3} \cdot 4 \pi (a)^2} = 2$$

$$\boxed{\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 2}$$

Resposta: 2

114.

1) O condutor **A** não está em contato com outro condutor. Assim, a sua carga se mantém constante (5 μC).
2) O condutor **B** está em contato com a terra. Assim, ele pode receber ou perder elétrons. Sua carga pode variar.
3) O condutor **C** não está em contato com outro condutor. Assim, sua carga total permanecerá a mesma (zero).

Resposta: d

115.

(01) Incorreta.
A eletrização do revestimento externo do avião ocorre devido ao atrito com o ar.

(02) Correta.
No interior de um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é nulo.

(04) Incorreta.
A eletrização por atrito também pode ocorrer em materiais isolantes.

(08) Correta.
As descargas elétricas ocorrem preferencialmente nas regiões pontiagudas (poder dos pontos).

(16) Incorreta.
Apesar de o campo elétrico ser mais intenso nas regiões pontiagudas, os potenciais são iguais em todos os pontos da superfície do avião.

(32) Correta.
As cargas elétricas originadas pelo atrito se distribuem pela superfície condutora do avião até que os potenciais sejam iguais em todos os pontos.

Resposta: 42

116.

a) Como a distribuição de cargas no anel é unifome, a intensidade do campo elétrico em seu centro (**O**) é nulo: $\boxed{E_0 = 0}$

b) Para o cálculo do potencial no centro (**O**), temos: $V_o = K \frac{Q_{total}}{R}$

Assim: $V_0 = 9{,}0 \cdot 10^9 \, \frac{9{,}0 \cdot 10^{-12}}{9{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{V_0 = 2{,}7\ V}$

c) No ponto **P**, o potencial é dado por: $V_P = K \frac{Q}{d}$

Assim, observando que a distância do ponto **P** a um ponto qualquer do anel vale 5,0 cm (hipotenusa do triângulo retângulo de catetos 3,0 cm (**R**) e 4,0 cm (OP), temos

$$V_P = 9 \cdot 10^9 \, \frac{9{,}0 \cdot 10^{-12}}{5{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{V_P = 1{,}62\ V}$$

Respostas: a) Zero; b) 2,7 V; c) 1,62 V

117.

Densidade superficial de cargas:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \Rightarrow 0{,}05 = \frac{Q}{4 \pi R^2}$$

$Q = 0{,}2 \, \pi R^2$

Repulsão entre as cargas:

$$F = K \frac{|Q\, q|}{d^2}$$

$$0{,}02 \, \pi = 9 \cdot 10^9 \, \frac{0{,}2 \, \pi R^2 1 \cdot 10^{-6}}{3^2}$$

$1 = 10^4 R^2 \Rightarrow R = 1 \cdot 10^{-2}$ m

Na queda da esfera:

$E_p = m\, g\, h$

$0{,}009 \, \pi = m\, 10 \cdot 750$

$m = 1{,}2 \cdot 10^{-6} \, \pi$ kg

Portanto, a massa específica da esfera é dada por:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4}{3} \pi R^3}$$

$$\rho = \frac{3m}{4 \pi R^3} = \frac{3 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-6} \pi}{4 \pi (10^{-2})^3}$$

$$\boxed{\rho = 0{,}9\ kg/m^3}$$

Resposta: 0,9 kg/m³

118.

I) Verdadeira.

Cálculo da carga elétrica **Q**.

$$V = K \frac{Q}{R} \Rightarrow 200\,000 = 9 \cdot 10^9 \, \frac{Q}{0{,}20}$$

$Q \cong 4{,}4 \cdot 10^{-6} C \cong 4{,}4\ \mu C$

Assim:

$Q < 1$ C

Cálculo da energia potencial armazenada na esfera.

$$E_p = \frac{Q\, V}{2} \Rightarrow E_p = \frac{4{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 200\,000}{2}$$

$E_p = 0{,}44$ J

Assim:

$E_p < 10$ J

II) Verdadeira.
Durante o funcionamento do gerador, as cargas elétricas estão em movimento ao longo da haste metálica. O campo elétrico somente é nulo quando houver equilíbrio eletrostático.

III) Verdadeira.
Durante o processo o sistema busca a situação de equilíbrio eletrostático que ocorrerá quando os potenciais de todos os pontos internos e da superfície atingem o mesmo valor.
Isso ocorrerá quando o excesso de cargas estiver distribuído na superfície externa do condutor.

IV) Falsa.
O vidro não é condutor de eletricidade. Se a esfera fosse de vidro, as cargas em excesso não estariam distribuídas em sua superfície externa.

Resposta: b

119.

a) Usando a Teoria da Conservação da Quantidade de Movimento, temos:

$Q_f = Q_i$

$2\,M\,v_A + M\,v_B = 0 \Rightarrow 2\,M\,v_A = -M\,v_B$

$v_B = -2\,v_A$

O sinal negativo indica que v_A e v_B possuem sentidos opostos.

Usando a Teoria da Conservação de Energia, temos:

$E_{inicial} = E_{final}$

$$K\frac{Q\,q}{d} = \frac{2\,M\,v_A^2}{2} + \frac{M\,v_B^2}{2} \Rightarrow K\frac{Q\,q}{d} = M\,v_A^2 + \frac{M(-2v_A)^2}{2}$$

$$K\frac{Q\,q}{d} = M\,v_A^2 + M\frac{4v_A^2}{2} \Rightarrow K\frac{Q\,q}{d} = 3Mv_A^2$$

$$\boxed{v_A = \sqrt{\frac{K\,Q\,q}{3\,M\,d}}} \text{ e } \boxed{v_B = 2\sqrt{\frac{K\,Q\,q}{3\,M\,d}}}$$

b) $E_{inicial} = E_{final}$

$$K\frac{Q\,q}{d} = \frac{M\,v_B^2}{2}$$

$$\boxed{v_B = \sqrt{\frac{2\,K\,Q\,q}{3\,M\,d}}}$$

Respostas: a) $v_A = \sqrt{\frac{K\,Q\,q}{3\,M\,d}}$, $v_B = 2\sqrt{\frac{K\,Q\,q}{3\,M\,d}}$;

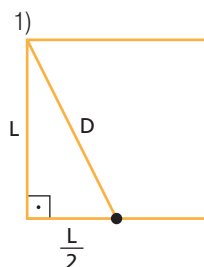
b) $v_B = \sqrt{\frac{2\,K\,Q\,q}{3\,M\,d}}$

120.

A luz violeta "arranca" elétrons da esfera metálica da direita, tornando-a eletrizada positivamente. Por indução, as cargas elétricas positivas provocarão separação das cargas da esfera da esquerda. A atração sendo maior do que a repulsão, fica estabelecida a configuração da figura 3.

Resposta: d

121.

1)

Cálculo de **D**:

$$D^2 = L^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$D^2 = L^2 + \frac{L^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{5L^2}{4}} \Rightarrow \frac{L}{2}\sqrt{5}$$

2) Assim, o potencial resultante em **P** é dado por:

$$V_p = K\frac{Q}{\frac{L}{2}} + K\frac{Q}{\frac{L}{2}\sqrt{5}} + K\frac{3q}{\frac{L}{2}\sqrt{5}} + K\frac{5q}{\frac{L}{2}} = 0$$

$$2Q + \frac{2q}{\sqrt{5}} + \frac{6q}{\sqrt{5}} + 10q = 0$$

$$2Q + \frac{8q}{\sqrt{5}} + 10q = 0$$

$$Q + \frac{4q}{\sqrt{5}} + 5q = 0$$

$$Q + q\left(\frac{4}{\sqrt{5}} + 5\right) = 0$$

$$Q + q\left(\frac{4 + 5\sqrt{5}}{\sqrt{5}}\right) = 0$$

$$\boxed{Q = \frac{-q\,(4 + 5\sqrt{5})}{\sqrt{5}}}$$

Resposta: c

122.

a) Como o sistema é isolado de forças externas, ocorre a conservação da quantidade de movimento.

Assim:

$Q_i = Q_f$

$$mv_0 = \frac{m\,3\,v_0}{4} + mv$$

$$\boxed{v = \frac{v_0}{4}}$$

b) Como as forças existentes são conservativas, ocorre a conservação da energia mecânica.

Assim: $E_i = E_f$

$$\frac{m\,v_0^2}{2} = \frac{m\left(\frac{3v_0}{4}\right)^2}{2} + \frac{m\left(\frac{v_0}{4}\right)^2}{2} + K\frac{q\,q}{d}$$

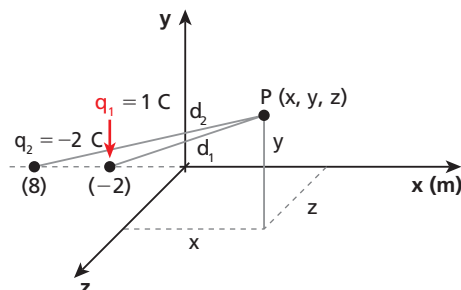
$$\frac{m\,v_0^2}{2} = \frac{9\,m\,v_0^2}{32} + \frac{m\,v_0^2}{32} + \frac{1}{4\,\pi\,\varepsilon_0}\cdot\frac{q^2}{d}$$

$$\frac{6\,m\,v_0^2}{32} = \frac{q^2}{4\,\pi\,\varepsilon_0\,d}$$

$$\frac{3\,m\,v_0^2}{4} = \frac{q^2}{\pi\,\varepsilon_0\,d} \Rightarrow \boxed{d = \frac{4q^2}{3\,\pi\,\varepsilon_0\,m\,v_0^2}}$$

Respostas: a) $\frac{v_0}{4}$; b) $\frac{4q^2}{3\pi\,\varepsilon_0\,m\,v_0^2}$

123.

Na figura está representado um ponto **P** do espaço que circunda as cargas q_1 e q_2. Esse é um dos pontos onde o potencial elétrico é nulo.

Assim: $V_p = V_1 + V_2 = 0$

$$V_p = K\frac{q_1}{d_1} + K\frac{q_2}{d_2} = 0 \Rightarrow K\frac{q_1}{d_1} = -\frac{K\,q_2}{d_2}$$

$$\frac{q_1}{d_1} = -\frac{q_2}{d_2} \Rightarrow \frac{1 \cdot 10^{-9}}{d_1} = -\frac{-2 \cdot 10^{-9}}{d_2} \Rightarrow d_2 = 2d_1$$

Na figura observamos que:

$$d_1^{\,2} = (x + 2)^2 + y^2 + z^2$$

$$d_2^{\,2} = (x + 8)^2 + y^2 + z^2$$

Como:

$$d_2^{\,2} = 4\,d_1^{\,2}$$

Vem:

$(x + 8)^2 + y^2 + z^2 = 4\,[(x + 2)^2 + y^2 + z^2]$

$x^2 + 16\,x + 64 + y^2 + z^2 = 4\,x^2 + 16\,x + 16 + y^2 + z^2$

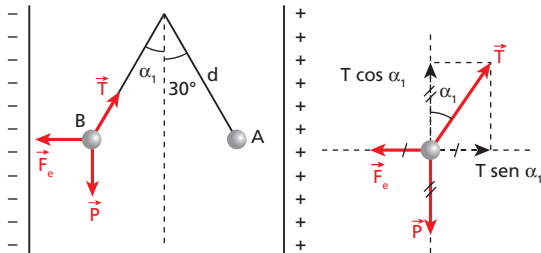
$x^2 + y^2 + z^2 = 16$

Essa expressão é a equação da circunferência. Como ao cortar o eixo **x** temos $y = 0$ e $z = 0$, vem:

$x^2 = 16 \Rightarrow \boxed{x = \pm 4\text{ m}}$

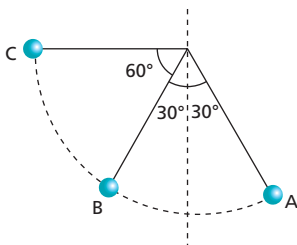
Resposta: a

124.

Ao ser abandonado dessa posição, que chamaremos de **A**, o pêndulo oscilará, existindo uma posição de equilíbrio, que chamaremos de **B**.

$$\begin{cases} T\ \text{sen}\ \alpha_1 = F_e = |q|\ E \\ T\ \cos\ \alpha_1 = P = m\ g \end{cases}$$

$$\frac{T\ \text{sen}\ \alpha_1}{T\ \cos\ \alpha_1} = \frac{|q|\ E}{m\,g} \Rightarrow \text{tg}\ \alpha_1 = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}5 \cdot 10^6}{3\sqrt{3} \cdot 10^{-4} \cdot 10}$$

$$\text{tg}\ \alpha_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow \boxed{\alpha_1 = 30°}$$

Atenção: em relação a **B** (posição de equilíbrio), o pêndulo atinge duas posições de distanciamento máximo, nos pontos **A** e **C**.

Portanto:

$\alpha_2 = 60° + 30°$

$\boxed{\alpha_2 = 90°}$

b) Usando o Teorema de Energia Cinética (TEC) entre as posições **A** e **B**, temos:

$$\tau_{total} = \Delta E_{cin}$$

$$\cancel{\tau_{peso}}^{\,0} + \cancel{\tau_{tração}}^{\,0} + \tau_{CE} = E_{C_{final}} - \cancel{E_{C_{inicial}}}^{\,0}$$

$$E_{C_{final}} = F_e\ d_{AB} = |q|\,E\ d_{AB}$$

$$E_{C_{final}} = 2{,}0 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}40$$

$$\boxed{E_{C_{final}} = 1{,}2 \cdot 10^{-3}\text{ J}}$$

Respostas: a) 30°; 90°; b) $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ J

125.

a) Sabemos que:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V_{esfera} = \frac{4}{3}\,\pi\,R^3$$

Assim:

$$m = \rho\,V_e = \rho\,\frac{4}{3}\,\pi\,R^3$$

Do texto, sabemos que o raio da maior gotícula vale 0,5 μm.

Portanto:

$$m = 9{,}0 \cdot 10^2 \cdot \frac{4}{3} \cdot 3\,(0{,}5 \cdot 10^{-6})^3$$

$$\boxed{m = 4{,}5 \cdot 10^{-16}\text{ kg}}$$

b) Na direção perpendicular ao campo elétrico, o movimento da gotícula é uniforme.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{0{,}3}{0{,}6}$$

$$\boxed{\Delta t = 0{,}5\text{ s}}$$

c) Na direção do campo elétrico, o movimento da gotícula é uniformemente variado (MUV).

Assim:

$F = |q|\,E$

$ma = |q|\,E$

$$a = \frac{|q|\,E}{m}$$

Mas:

$$E\,d = U \Rightarrow E = \frac{U}{d}$$

Então:

$$a = \frac{|q|\ U}{m\ d} = \frac{8 \cdot 10^{-19} \cdot 50}{4{,}5 \cdot 10^{-16} \cdot 1 \cdot 10^{-2}}$$

$$a = \frac{4{,}0}{4{,}5}\text{m/s}^2 = \frac{80}{9}\text{ m/s}^2$$

Supondo que a gotícula esteja a uma distância $\frac{d}{2}$ de uma das placas (no meio do tubo), temos:

$$\Delta s = v_0\ t + \frac{at^2}{2}$$

$$\frac{d}{2} = \frac{a\ t^2}{2}$$

$$1 \cdot 10^{-2} = \frac{80}{9}\ t^2$$

$$\boxed{t \cong 0{,}034\text{ s}}$$

Observe que esse valor é bem menor que o 0,5 s calculado no item **b** (tempo que a gotícula leva para atravessar o tubo). Assim, concluímos que as gotículas são retidas nas placas do coletor.

Respostas: a) $4,5 \cdot 10^{-16}$ kg; b) 0,5 s; c) sim, a gotícula é retida no coletor.

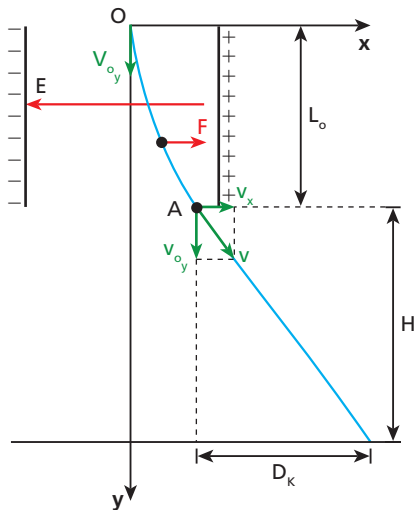
126.

a) Sabemos que:

$F = M A_x$

$F = Q E$

Assim: $M A_x = Q E \Rightarrow \boxed{A_x = \dfrac{Q E}{M}}$

b) Na figura a seguir, representamos a situação de movimento de uma gota.

Quando a gota atinge o ponto **A**, temos:

$v_x = A_x \cdot t$

Para o cálculo de **t** devemos observar que, na direção do eixo Oy o movimento da gota é uniforme.

$$L_0 = v_{0_y} \cdot t \Rightarrow t = \frac{L_0}{V_{0_y}}$$

Assim, temos:

$v_x = A_x \cdot t$

$$v_x = \frac{Q E}{M} \cdot \frac{L_0}{v_{0_y}} \Rightarrow \boxed{v_x = \frac{Q E L_0}{M V_{0_y}}}$$

c) Após sair das placas, o movimento da gota, na direção do eixo Ox, passa a ser uniforme.

Assim, para percorrer a distância D_k o tempo necessário vale:

$$t' = \frac{H}{v_{0_y}}$$

Portanto:

$$D_k = v_x \cdot t' \Rightarrow D_k = \frac{Q E L_0}{M v_{0_y}} \cdot \frac{H}{v_{0_y}}$$

$$\boxed{D_k = \frac{Q E L_0 H}{M v_{0_y}^{\ 2}}}$$

Respostas: a) $\dfrac{Q E}{M}$; b) $\dfrac{Q E L_0}{M v_{0_y}}$; c) $\dfrac{Q E L_0 H}{M v_{0_y}^{\ 2}}$

127.

a) Lei de Coulomb:

$$F = K \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 1,5 \cdot 10^{-9}}{(2 \cdot 0,05)^2}$$

$F = 2,025 \cdot 10^{-6}$ N

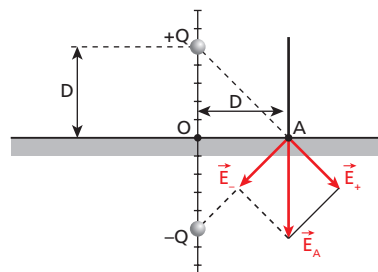
$\boxed{F \cong 2,0 \cdot 10^{-6}\ \text{N}}$

b) Usando-se:

$F = |Q|\ E_0$

$2,025 \cdot 10^{-6} = 1,5 \cdot 10^{-9} E_0$

$\boxed{E_0 = 1,35 \cdot 10^3\ \text{V/m}}$

c)

d) Para o cálculo do campo individual de cada carga, usamos:

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = K \frac{|Q|}{r^2}$$

Na figura, observamos que:

$r = D\sqrt{2}$

Assim, temos:

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = 9 \cdot 10^9 \frac{1,5 \cdot 10^{-9}}{2(0,05)^2}$$

$$|\vec{E}_+| = |\vec{E}_-| = 2,7 \cdot 10^3\ \text{V/m}$$

Aplicando-se Pitágoras, vem:

$E_A^{\ 2} = E_+^{\ 2} + E_-^{\ 2} = 2E^2$

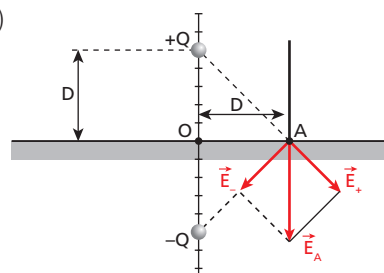
$E_A^{\ 2} = 2(2,7 \cdot 10^3)^2$

$E_A = 2,7\sqrt{2} \cdot 10^3$ V/m

$\boxed{E_A \cong 3,8 \cdot 10^3\ \text{V/m}}$

Respostas: a) $2,0 \cdot 10^{-6}$ N;

b) $1,35 \cdot 10^3$ V/m;

c)

d) $3,8 \cdot 10^3$ V/m

Unidade II – ELETRODINÂMICA

Tópico 1 – Corrente elétrica e resistores

Página 119

1.
Os portadores de carga que constituem uma corrente elétrica nos metais são os elétrons de condução, também chamados de elétrons livres.

Resposta: Elétrons de condução (ou elétrons livres).

2.
- Os elétrons livres se movem para a extremidade em que o potencial elétrico é maior, ou seja, de **A** para **B**.
- O sentido convencional da corrente elétrica é oposto ao do movimento ordenado dos elétrons livres, ou seja, de **B** para **A**.

Resposta: Os elétrons livres se movem de **A** para **B** e o sentido convencional da corrente é de **B** para **A**.

4.
$$i = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{n\,e}{\Delta t} = \frac{10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1 \cdot 10^{-3}}$$
$$\boxed{i = 1{,}6 \cdot 10^{-10}\ A}$$

Resposta: $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ A

5.
a) $|Q| = i\,\Delta t = 10 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{|Q| = 10\ C}$

b) $|Q| = n\,e \Rightarrow n = \frac{|Q|}{e} = \frac{10}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \Rightarrow \boxed{n = 6{,}25 \cdot 10^{19}}$

Respostas: a) 10 C; b) $6{,}25 \cdot 10^{19}$

6.
$i_1 = 8 + 10 \Rightarrow \boxed{i_1 = 18\ A}$

$20 = 8 + i_2 \Rightarrow \boxed{i_2 = 12\ A}$

Resposta: $i_1 = 18$ A; $i_2 = 12$ A

7.
A radiação tornou o ar condutor, e ar condutor só pode ser ar ionizado.

Resposta: e

8.
- Estabelecido que o ar é um isolante elétrico, sem nenhuma ressalva, não poderia ocorrer nele uma descarga elétrica. Portanto, as informações são conflitantes.
- $i = \frac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow 10\,000 = \frac{20}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{\Delta t = 0{,}002\ s}$

Resposta: c

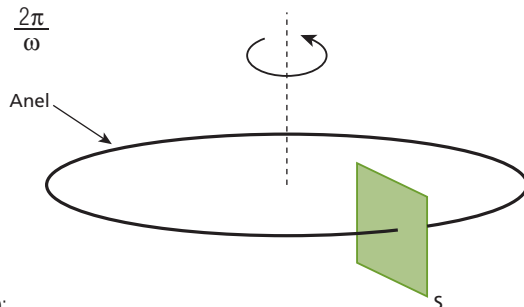
10.
Inicialmente, determinamos a carga total **Q** do anel:

$$\lambda = \frac{Q}{2\pi r} \Rightarrow Q = 2\pi r \lambda$$

Em uma volta completa do anel, decorre um intervalo de tempo igual ao seu período de rotação **T**, e uma quantidade de carga **Q** passa por uma superfície fixa e imaginária **S**, seccionando transversalmente o anel.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$
$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Anel

S

Então:

$$i = \frac{Q}{T} = \frac{2\pi r \lambda}{\frac{2\pi}{\omega}} \Rightarrow \boxed{i = \omega\, r\, \lambda}$$

Resposta: $\omega\, r\, \lambda$

11.
$$i = \frac{N_{(+)}Q_{(+)} + N_{(-)}\left|Q_{(-)}\right|}{\Delta t} = \frac{\left(5{,}0 \cdot 10^{15} \cdot 2e\right) + \left(4{,}0 \cdot 10^{16} \cdot e\right)}{1\ s} =$$
$$= \frac{50 \cdot 10^{15} \cdot e}{1\ s} = \frac{50 \cdot 10^{15} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C}{1\ s}$$
$$\boxed{i = 8 \cdot 10^{-3}\ A = 8\ mA}$$

Resposta: 8 mA

Página 125

12.
Resposta: a

14.
I. Correta. Os portadores de carga que percorrem o fio são os chamados elétrons livres.
II. Correta. $i = 5$ A significa 5 C/s.
III. Correta. $U = 1{,}2$ V significa 1,2 J/C.
IV. Correta. $Pot = U\,i = 1{,}2\ V \cdot 5\ A = 6\ W$, o que significa 6 J/s.

Resposta: e

15.
a) $Pot = U\,i \Rightarrow 1800 = 100\,i \Rightarrow \boxed{i = 18\ A}$

b) $E = Pot\,\Delta t = 1{,}8\ kW \cdot 1h \Rightarrow \boxed{E = 1{,}8\ kWh}$

Respostas: a) 18 A; b) 1,8 kWh

16.
a) $Pot = \frac{E}{\Delta t} = \frac{m\,c\,\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{660 \cdot 4{,}2 \cdot 80}{4{,}0 \cdot 60} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{Pot = 924\ W}$

b) $Pot = U\,i \Rightarrow 924 = 110\,i \Rightarrow \boxed{i = 8{,}4\ A}$

Respostas: a) 924 W; b) 8,4 A

17.

Sendo E_C e E_L as energias consumidas, respectivamente, pelo chuveiro e pela lâmpada, temos:

$E_C = E_L$

$Pot_C\ \Delta t_C = Pot_L\ \Delta t_L$

$2\,800\ W \cdot 10\ min = 40\ W \cdot \Delta t_L$

$\Delta t_L = 700\ min$

$\boxed{\Delta t_L = 11 \text{ horas e } 40 \text{ minutos}}$

Resposta: d

18.

Com o velho chuveiro (3 300 W/220 V):

$Pot = U\ i \Rightarrow 3\,300 = 220\ i \Rightarrow \boxed{i = 15\ A}$

Com a moderna ducha (7 700 W/220 V):

$P'ot = U\ i \Rightarrow 7\,700 = 220\ i' \Rightarrow \boxed{i' = 35\ A}$

Resposta: b

19.

Resposta: e

20.

$Pot = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = Pot\ \Delta t = 800\ W \cdot 5{,}0 \cdot 60\ s = 2{,}4 \cdot 10^5\ J$

$Q = m\ c\ \Delta\theta \Rightarrow 2{,}4 \cdot 10^5\ J = m \cdot \frac{4{,}0\ J}{g\ °C} \cdot 80\ °C$

$m = 7{,}5 \cdot 10^2\ g \Rightarrow \boxed{V = 7{,}5 \cdot 10^2\ mL}$

Resposta: 750 mL

21.

De 0 a 10 min, temos:

$Pot = U\ i = 200 \cdot 10 \Rightarrow Pot = 2\,000\ W = 2\ kW$

$E_1 = Pot \cdot \Delta t = 2\ kW \cdot \frac{1}{6} h \Rightarrow E_1 = \frac{2}{6} kWh$

De 10 a 20 min, temos:

$Pot = U\ i = 200 \cdot 5 \Rightarrow Pot = 1000\ W = 1\ kW$

$E_2 = Pot \cdot \Delta t = 1\ kW \cdot \frac{1}{6} h \Rightarrow E_2 = \frac{1}{6} kWh$

De 0 a 20 min temos, portanto:

$E = E_1 + E_2 = \frac{2}{6}\ kWh + \frac{1}{6}\ kWh$

$\boxed{E = 0{,}5\ kWh}$

Resposta: 0,5 kWh

22.

- Cada lâmpada incandescente fornece:

$$100\ W \cdot \frac{15\ \ell m}{W} = 1500\ \ell m$$

- Cada lâmpada fluorescente, de **P** watts, também deve fornecer 1 500 ℓm:

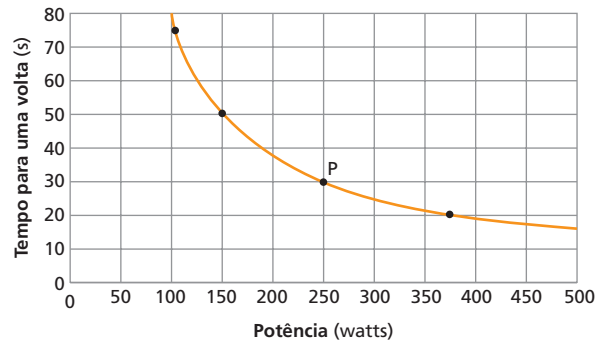
$$P \cdot \frac{60\ \ell m}{W} = 1500\ \ell m \Rightarrow \boxed{P = 25\ W}$$

- Redução da potência consumida: 10 (100 W − 25 W) = 0,75 kW
- Redução do consumo de energia em 30 dias: 0,75 kW · 6 h · 30 = 135 kWh
- Economia mensal = 135 · R$ 0,20 = R$ 27,00

Resposta: c

23.

a) O ponto **P** indicado no gráfico nos informa que, se o tempo para dar uma volta é de 30 s, a potência é:

$\boxed{Pot = 250\ W}$

b) Os quatro pontos destacados no gráfico permitem concluir que o produto (Tempo para dar uma volta · Potência) é constante.
Então, essas grandezas são inversamente proporcionais.

Respostas: a) 250 W;
b) Inversamente proporcionais

24.

a) $Pot_{máx} = U\ i_{máx}$

$6\,000 = 120\ i_{máx} \Rightarrow \boxed{i_{máx} = 50\ A}$

Portanto, o fusível deve suportar 50 A, no mínimo.

b) 0,5 kW { ■ } 1 h

A “área” deste retângulo corresponde a um consumo de energia igual a:
0,5 kW · 1 h = 0,5 kWh
A “área” total do gráfico contém 30 retângulos. Então:

$\boxed{\text{Energia consumida} = 30 \cdot 0{,}5\ kWh = 15\ kWh}$

c) Consumo = 30 · 15 kWh = 450 kWh

Preço = 450 · R$ 0,12

$\boxed{\text{Preço} = R\$\ 54{,}00}$

Resposta: a) 50 A; b) 15 kWh; c) R$ 54,00

Página 134

25.

Resposta: b

26.

I. Correta. **U** e **i** são diretamente proporcionais.

II. Correta. $R = \frac{10\ V}{2\ A} = \frac{5\ V}{A} = 5\ \Omega$

III. Correta. $R = \frac{30}{i_2} = 5 \Rightarrow i_2 = 6\ A$

IV. Correta. $E = Pot\ \Delta t = U\ i\ \Delta t = 10 \cdot 2 \cdot 20 \Rightarrow \boxed{E = 400\ J}$

Resposta: d

27.

Do gráfico:

a) $\boxed{U = 0{,}7\ V}$

b) $R_1 = \frac{1{,}2}{6} \Rightarrow \boxed{R_1 = 0{,}2\ \Omega}$

$R_2 = \frac{1{,}4}{10} \Rightarrow \boxed{R_2 = 0{,}14\ \Omega}$

Respostas: a) 0,7 V; b) $R_1 = 0{,}2\ \Omega$; $R_2 = 0{,}14\ \Omega$

28.

Entre os fios **A** e **C** temos a diferença de potencial de máximo valor absoluto: 500 V.

Resposta: d

29.

$$i = \frac{U}{R} = \frac{220}{1500} \Rightarrow i = 0{,}147\ A = 147\ mA$$

Resposta: d

31.

a) $Pot = \frac{U^2}{R} \Rightarrow 26 = \frac{127^2}{R} \Rightarrow \boxed{R = 620\ \Omega}$

b) $Pot = U\,i \Rightarrow 26 = 127\,i \Rightarrow \boxed{i = 205\ mA}$

c) $E = Pot\,\Delta t = 26 \cdot 5{,}0 \cdot 60 \Rightarrow$

$E = 7\,800\ J \Rightarrow \boxed{E = 7{,}8\ kJ}$

Respostas: a) 620 Ω; b) 205 mA; c) 7,8 kJ

32.

$Pot_{máx} = R \cdot i_{máx^2} \Rightarrow 1 = 10 \cdot 10^3 \cdot i_{máx^2}$

$i_{máx} = 0{,}01\ A \Rightarrow \boxed{i_{máx} = 10\ mA}$

Resposta: 10 mA

33.

$Pot = \frac{U^2}{R} = \frac{6{,}0^2}{3{,}0} \Rightarrow Pot = 12\ W = 12\ \frac{J}{s} \Rightarrow$

$\boxed{Pot = 3{,}0\ cal/s}$

Resposta: 3,0 cal/s

34.

a) $Pot = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{Pot} = \frac{220^2}{5\,500} \Rightarrow \boxed{R = 8{,}8\ \Omega}$

b) $Q = m\,c\,\Delta\theta \Rightarrow 5\,500 = 55 \cdot 4{,}0 \cdot (\theta - 15) \Rightarrow \boxed{\theta = 40\ °C}$

c) $Q = m'\,c\,\Delta\theta' \Rightarrow 5\,500 = m' \cdot 4{,}0 \cdot (70 - 15) \Rightarrow \boxed{m' = 25\ g}$

Respostas: a) 8,8 Ω; b) 40 °C; c) 25 g

35.

De 0 a 10 s, temos:

$E = Pot\,\Delta t = R\,i^2\,\Delta t = 10^3\,(10^{-2})^2\,10 \Rightarrow E = 1\ J$

De 0 a 50 s, temos: $\boxed{E = 5\ J}$

Resposta: 5 J

36.

Sendo **R** a resistência elétrica da linha e **i** a intensidade da corrente que passa por ela, a potência dissipada na linha é dada por:

$Pot = R\,i^2$

- A 300 K, $R = 0{,}004\ \Omega$ e $i = 1000\ A \Rightarrow \boxed{Pot = 4\,000\ W}$
- A 100 K, $R = 0{,}001\ \Omega$ e $Pot = 4\,000\ W$ (mesma "perda"):

  $4\,000 = 0{,}001\ i^2 \Rightarrow \boxed{i = 2\,000\ A}$

Resposta: 2 000 A

37.

a) $Pot_{II} = 4\,400\ W = 4{,}4\ kW$

$Pot_I = \frac{U^2}{R_I} = \frac{220^2}{20{,}0} \Rightarrow Pot_I = 2420\ W \Rightarrow \boxed{P = 2{,}42\ kW}$

$E_{II} = Pot_{II}\,\Delta t$

$E_I = Pot_I\,\Delta t$

$\boxed{\Delta t = 20\ min = \frac{1}{3}\ h}$

Economia em um banho $= E_{II} - E_I = (Pot_{II} - Pot_I)\,\Delta t = 0{,}66\ kWh$

$\boxed{\text{Economia mensal} = 30 \cdot 0{,}66\ kWh = 19{,}8\ kWh}$

b) $\left.\begin{array}{l} Pot_{II} = \dfrac{m_{II}\,c\,\Delta\theta}{\Delta t} \\ Pot_I = \dfrac{m_I\,c\,\Delta\theta}{\Delta t} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{Pot_{II}}{Pot_I} = \frac{m_{II}}{m_I} = \frac{V_{II}}{V_I} \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{4{,}4}{2{,}42} = \frac{V_{II}}{48\ L} \Rightarrow V_{II} \cong 87{,}3\ L$

$\boxed{\text{Economia} = V_{II} - V_I = 39{,}3\ L}$

Respostas: a) 19,8 kWh; b) 39,3 L

Página 138

39.

$A = \pi\,r^2 = 3{,}1\,(1 \cdot 10^{-3})^2 \Rightarrow A = 3{,}1 \cdot 10^{-6}\ m^2$

$\ell = \frac{R\,A}{\rho} = \frac{1{,}0 \cdot 3{,}1 \cdot 10^{-6}}{1{,}7 \cdot 10^{-8}} \Rightarrow \boxed{\ell \cong 182\ m}$

Resposta: 182 m

40.

a) $R_{cobre} = R_{nicromo}$

$\frac{\rho_{cobre}\,\ell_{cobre}}{A} = \frac{\rho_{nicromo}\,\ell_{nicromo}}{A} \Rightarrow$

$\Rightarrow 2 \cdot 10^{-8} \cdot \ell_{cobre} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2$

$\boxed{\ell_{cobre} = 100\ m}$

b) Não. As dimensões de um chuveiro não comportariam um enrolamento de 100 m de fio.

Respostas: a) 100 m; b) Não

41.

$\ell = 1\ m$

$A = 14\ cm^2 = 14 \cdot 10^{-4}\ m^2$

$\rho = 2{,}8 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

$R = \frac{\rho\,\ell}{A} = \frac{(2{,}8 \cdot 10^{-8}) \cdot 1}{14 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \boxed{R = 2 \cdot 10^{-5}\ \Omega}$

Resposta: $2 \cdot 10^{-5}\ \Omega$

43.

$\text{Pot} = \dfrac{U^2}{R}$: para **U** constante, a redução de **R** implica um aumento de Pot.

$R = \dfrac{\rho\,\ell}{A}$: cortando um pedaço do resistor, ℓ diminui e **R** também.

Nota: Esse procedimento não é recomendável.

Resposta: c

44.

- $R = \dfrac{\rho\,\ell}{A}$: $A_B > A_A \Rightarrow R_B < R_A$
- $\text{Pot} = \dfrac{U^2}{R}$: $R_B < R_A \Rightarrow \boxed{\text{Pot}_B > \text{Pot}_A}$

Resposta: d

45.

Em funcionamento normal, 60 J de energia elétrica são dissipados por segundo, mas apenas uma pequena porcentagem desse valor corresponde à energia luminosa (eficiência luminosa muito baixa).

- $\text{Pot} = \dfrac{U^2}{R} \Rightarrow R = \dfrac{220^2}{60} \Rightarrow \boxed{R \cong 807\ \Omega}$

  $i = \dfrac{\text{Pot}}{U} = \dfrac{60}{220} \Rightarrow \boxed{i \cong 0{,}27\ \text{A}}$

- Nos instantes iniciais de funcionamento, quando o filamento ainda está "frio", a resistividade ρ é mais baixa e, portanto, **R** é mais baixa e **i** é mais intensa.

Resposta: c

46.

$\text{Pot} = \dfrac{U^2}{R} \Rightarrow R = \dfrac{U^2}{\text{Pot}} = \dfrac{220 \cdot 220}{100} \Rightarrow R = 484\ \Omega$

$R = \dfrac{\rho\,\ell}{A} \Rightarrow A = \dfrac{\rho\,\ell}{R} = \dfrac{6{,}2 \cdot 10^{-1}\ \dfrac{\Omega\ \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 2 \cdot 10^{-1}\ \text{m}}{484\ \Omega}$

$\boxed{A = 2{,}6 \cdot 10^{-4}\ \text{mm}^2}$

Resposta: $2{,}6 \cdot 10^{-4}\ \text{mm}^2$

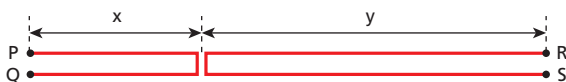
47.

Temos: $R = \dfrac{\rho\,\ell}{A}$

Dobrando-se o comprimento do fio, a área de sua seção transversal reduz-se à metade, já que seu volume não se altera. Assim, a nova resistência *R'* do fio será:

$R' = \dfrac{\rho \cdot 2\ell}{\dfrac{A}{2}} = 4\dfrac{\rho\,\ell}{A} \Rightarrow \boxed{R' = 4R}$

Resposta: 4R

48.

Como a resistência é proporcional ao comprimento, podemos escrever:

$\dfrac{R_{PQ}}{R_{RS}} = \dfrac{2x}{2y} \Rightarrow \dfrac{20{,}0}{80{,}0} = \dfrac{x}{y} \Rightarrow y = 4{,}00x$

$y + x = 5{,}00\ \text{km} \Rightarrow 5{,}00x = 5{,}00$

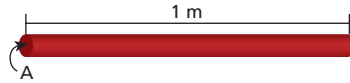
$\boxed{x = 1{,}00\ \text{km}}$

Resposta: c

49.

$\ell = 1\ \text{km} = 1000\ \text{m} \Rightarrow R = 0{,}34\ \Omega$

$R = \dfrac{\rho\,\ell}{A} \Rightarrow A = \dfrac{\rho\,\ell}{R} = \dfrac{1{,}7 \cdot 10^{-8} \cdot 1000}{0{,}34}$

$A = 5 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^2$

$\Rightarrow \text{Volume} = 5 \cdot 10^{-5}\ \text{m}^3$

$\text{densidade} = \dfrac{\text{massa}}{\text{volume}} \Rightarrow 9000 = \dfrac{\text{massa}}{5 \cdot 10^{-5}}$

$\text{massa} = 4{,}5 \cdot 10^{-1}\ \text{kg} \Rightarrow \boxed{\text{massa} = 450\ \text{g}}$

Resposta: b

50.

Resposta:

Quando a lâmpada é ligada em 110 V, o filamento apresenta temperatura bem mais alta. Então, a resistividade do tungstênio também é bem maior, o mesmo ocorrendo com a resistência elétrica do filamento.

51.

$L = 1{,}5\ \text{m};\ A = 0{,}050 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$

a) Do gráfico: $T = 10\ \text{K} \Rightarrow \rho = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\ \Omega\ \text{m}$

Então: $R = \dfrac{\rho\,\ell}{A} = \dfrac{2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}5}{0{,}050 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{R = 60\ \Omega}$

b) Como a resistência da parte do fio imersa em hélio é nula, temos:

$R' = \dfrac{\rho\,(\ell - h)}{A} \Rightarrow 36 = \dfrac{2{,}0 \cdot 10^{-6}(1{,}5 - h)}{0{,}050 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow$

$\boxed{h = 0{,}60\ \text{m}}$

Respostas: a) $60\ \Omega$; b) 0,60 m

Página 140

52.

a) $E\,d = U \Rightarrow 5{,}00 \cdot 10^6 \cdot 500 = U$

$\boxed{U = 2{,}5 \cdot 10^9\ \text{V}}$

b) $\text{Pot}_m = \dfrac{\text{Energia}}{\Delta t} = \dfrac{5{,}00 \cdot 10^{11}}{0{,}10}$

$\text{Pot}_m = 5{,}00 \cdot 10^{12}\ \text{W}$

$\text{Pot}_m = U\,i_m \Rightarrow 5{,}00 \cdot 10^{12} = 2{,}5 \cdot 10^9\ i_m$

$\boxed{i_m = 2{,}0 \cdot 10^3\ \text{A}}$

c) $i_m = \dfrac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow |Q| = i_m\,\Delta t = 2{,}0 \cdot 10^3 \cdot 0{,}10 \Rightarrow \boxed{|Q| = 2{,}0 \cdot 10^2\ \text{C}}$

Respostas: a) $2{,}5 \cdot 10^9$ V; b) $2{,}0 \cdot 10^3$ A; c) $2{,}0 \cdot 10^2$ C

53.

$m = 10{,}0\ \text{g} = 10{,}0 \cdot 10^{-3}\ \text{kg}$

$L_f = 2{,}5 \cdot 10^4\ \text{J/kg}$

$Q = m\,L_f = 10{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}5 \cdot 10^4 \Rightarrow Q = 2{,}5 \cdot 10^2\ \text{J}$

$\text{Pot} = U\,i = 5{,}0 \cdot 20 \Rightarrow \text{Pot} = 100\ \text{W}$

$\text{Pot} = \dfrac{E}{\Delta t} = \dfrac{Q}{\Delta t} \Rightarrow 100 = \dfrac{2{,}5 \cdot 10^2}{\Delta t}$

$\boxed{\Delta t = 2{,}5\ \text{s}}$

Resposta: c

54.

Calculando a energia dissipada (**E**) na lâmpada, em 5 minutos (300 s), temos:

$E = Pot\,\Delta t = 60 \cdot 300 \Rightarrow E = 18\,000$ J

Calculando, agora, a energia absorvida (**Q**) pelo calorímetro e pela água, em 5 minutos, temos:

$Q_{água} = m_{água}\, c_{água}\, \Delta\theta = 400 \cdot 4{,}2 \cdot 8$

$Q_{água} = 13\,440$ J

$Q_{calorímetro} = C_{cal}\, \Delta\theta = 420 \cdot 8$

$Q_{calorímetro} = 3\,360$ J

Portanto: $Q = Q_{água} + Q_{calorímetro} = 16\,800$ J

A energia irradiada para o ambiente (E_i) é dada por:

$E_i = E - Q = 18\,000 - 16\,800 \Rightarrow \boxed{E_i = 1\,200 \text{ J}}$

Resposta: 1 200 J

55.

$Pot = U\,i \Rightarrow 20\,000 = 200i \Rightarrow \boxed{i = 100 \text{ A}}$

$U' = R\,i \Rightarrow U' = 0{,}50 \cdot 100 \Rightarrow \boxed{U' = 50 \text{ V}}$

Resposta: 50 V

56.

a) O campo elétrico no interior desse fio é uniforme:

$E\,\overline{AB} = U_{AB} \Rightarrow E\,0{,}30 = 6 \Rightarrow \boxed{E = 20 \text{ V/m}}$

b) $E\,\overline{CD} = U_{CD} \Rightarrow 20 \cdot 0{,}12 = U_{CD}$

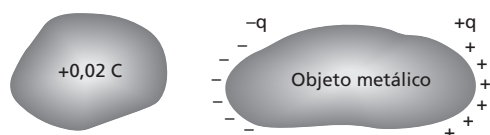
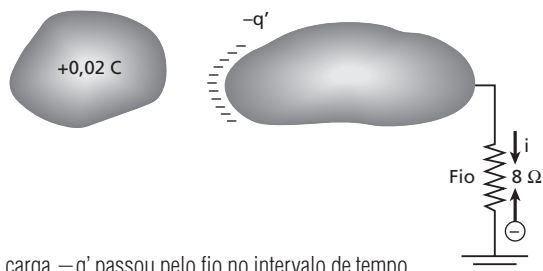
$U_{CD} = 2{,}4$ V

Porém ν_D é menor que ν_C e, portanto:

$\boxed{\nu_D - \nu_C = -2{,}4 \text{ V}}$

Respostas: a) 20 V/m; b) −2,4 V

57.

Em virtude da indução eletrostática, temos:

- O objeto metálico se eletriza com uma carga −q' recebida da Terra:

Essa carga −q' passou pelo fio no intervalo de tempo $\Delta t = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ s.

$E = Pot\,\Delta t \Rightarrow E = R\,i^2\,\Delta t$

$2 = 8\,i^2\,0{,}1 \cdot 10^{-3} \Rightarrow i = 50$ A

$i = \dfrac{q'}{\Delta t} \Rightarrow 50 = \dfrac{q'}{10^{-4}} \Rightarrow \boxed{-q' = -0{,}005 \text{ C}}$

Resposta: c

58.

Temos:

$R = R_0\,[1 + \alpha\,(\theta - \theta_0)] \Rightarrow \dfrac{U}{i} = \dfrac{U}{i_0}\,[1 + \alpha\,(\theta - \theta_0)]$

Sendo $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}\,°C^{-1}$, $\theta_0 = 20\,°C$, $i_0 = 2{,}0$ A e $i = 1{,}6$ A, calculemos θ:

$\dfrac{1}{1{,}6} = \dfrac{1}{2{,}0}\,[1 + 5 \cdot 10^{-3}\,(\theta - 20)] \Rightarrow \boxed{\theta = 70\,°C}$

Resposta: 70 °C

59.

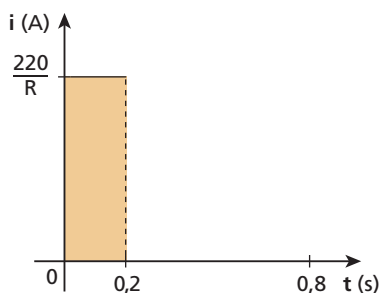
a) $Z_I = \dfrac{P_{220}}{P_{110}} = \dfrac{\frac{220^2}{R}}{\frac{110^2}{R}} = \dfrac{220 \cdot 220}{110 \cdot 110} = 2 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{Z_1 = 4}$

b) $P_{média\ em\ 220\,V} = P_{110} \Rightarrow \dfrac{E_{220}}{\Delta t_{ciclo}} = P_{110} \Rightarrow$

$\Rightarrow \dfrac{P_{220} \cdot \Delta t_{ligado}}{\Delta t_{ciclo}} = P_{110} \Rightarrow \dfrac{P_{220} \cdot 0{,}2}{0{,}2 + \Delta t} = P_{110} \Rightarrow$

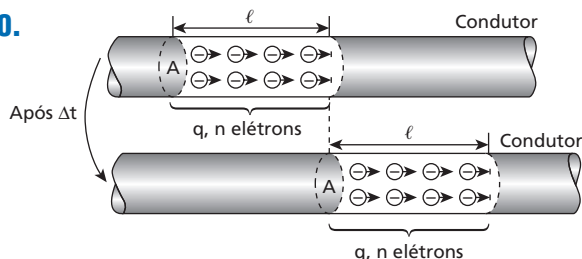
$\Rightarrow 0{,}2 + \Delta t = \dfrac{P_{220}}{P_{110}} \cdot 0{,}2 \Rightarrow 0{,}2 + \Delta t = 4 \cdot 0{,}2$

$\boxed{\Delta t = 0{,}6 \text{ s}}$

c) • Em um ciclo, em 220 V, temos:

$I_{220} = \dfrac{|Q|}{\Delta t_{ciclo}} = \dfrac{\text{"área"}}{\Delta t_{ciclo}} = \dfrac{0{,}2 \cdot \frac{220}{R}}{0{,}8} = \dfrac{220}{4R}$

- Em 110 V: $I_{110} = \dfrac{U}{R} = \dfrac{110}{R}$
- $Z_2 = \dfrac{I_{220}}{I_{110}} = \dfrac{220}{4R} \cdot \dfrac{R}{110} \Rightarrow \boxed{Z_2 = 0{,}5}$

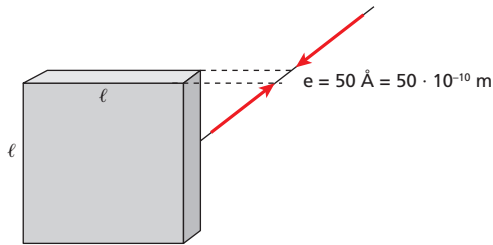
Respostas: a) 4; b) 0,6 s; c) 0,5

60.

$N = \dfrac{n}{A\,\ell} \Rightarrow n = N\,A\,\ell \Rightarrow \boxed{|q| = N\,A\,\ell\,e}$

$i = \dfrac{|q|}{\Delta t} \Rightarrow i = \dfrac{N\,A\,\ell\,e}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{i = N\,A\,v\,e}$

Resposta: $i = N\,A\,v\,e$

61.

A resistência elétrica entre **A** e **B** é praticamente a resistência da película quadrada, uma vez que as camadas espessas têm resistência desprezível.

$$R = \frac{\rho\,\ell}{A} = \frac{\rho\,\ell}{\ell\,e} = \frac{2{,}83 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-10}} \Rightarrow \boxed{R = 566\ \Omega}$$

Resposta: 566 Ω

Tópico 2 – Associação de resistores e medidas elétricas

Página 145

1.

a) As lâmpadas **A** e **B** estão associadas em série porque a corrente elétrica que passa por elas é a mesma.

b) As lâmpadas **C** e **D** estão associadas em paralelo porque ambas estão submetidas à mesma diferença de potencial que, no caso, é a diferença de potencial entre os polos da pilha

Respostas: a) Em série; b) Em paralelo

2.

a) $R_{eq} = 3 + 7 \Rightarrow \boxed{R_{eq} = 10\ \Omega}$

b) $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{36} + \frac{1}{12} + \frac{1}{1} = \frac{40}{36} \Rightarrow \boxed{R_{eq} = 0{,}9\ \Omega}$

c) $R_{eq} = \frac{6}{2} + 2 \Rightarrow \boxed{R_{eq} = 5\ \Omega}$

Respostas: a) 10 Ω; b) 0,9 Ω; c) 5 Ω

4.

Lembrando que U = R i e que **i** é igual em todos os resistores associados, concluímos que **U** só será igual em todos eles se suas resistências elétricas também o forem. Assim, a alternativa incorreta é a **d**.

Resposta: d

5.

- $R = \frac{U}{i} = \frac{100}{2} \Rightarrow \boxed{R = 50\ \Omega}$
- $U' = 20\,i = 20 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{U' = 40\ V}$

Respostas: R = 50 Ω, U' = 40 V

7.

a) $9{,}0 = n \cdot 1{,}5 \Rightarrow \boxed{n = 6}$

b) $Pot = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{Pot} = \frac{1{,}5^2}{1{,}8} \Rightarrow \boxed{R = 1{,}25\ \Omega}$

Respostas: a) 6; b) 1,25 Ω

9.

O quociente do produto pela soma das resistências só fornece a resistência equivalente à associação de dois resistores em paralelo.

Resposta: d

10.

a)
- No resistor de 100 Ω: $U = 100 \cdot 5 \Rightarrow U = 500\ V$
- No resistor de 250 Ω: $500 = 250\,i' \Rightarrow i' = 2\ A$
- $i = 1 + 5 + i' = 1 + 5 + 2 \Rightarrow \boxed{i = 8\ A}$
- Em R: $500 = R \cdot 1 \Rightarrow \boxed{R = 500\ \Omega}$

b)
- No resistor de 13 Ω: $U = 13 \cdot 10 \Rightarrow U = 130\ V$
- No resistor de 65 Ω: $130 = 65\,i' \Rightarrow i' = 2\ A$
- $i = 10 + i' = 10 + 2 \Rightarrow \boxed{i = 12\ A}$
- Em R: $120 = R \cdot 12 \Rightarrow \boxed{R = 10\ \Omega}$

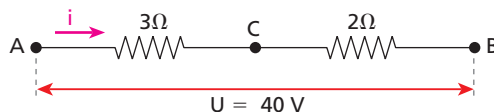
Respostas: a) i = 8 A e R = 500 Ω; b) i = 12 A e R = 10 Ω

11.

- $18i_1 = 6i_2 \Rightarrow i_2 = 3i_1$
- $i_1 + i_2 = 8 \Rightarrow 4i_1 = 8 \Rightarrow \boxed{i_1 = 2\ A}$ e $\boxed{i_2 = 6\ A}$

Resposta: $i_1 = 2$ A e $i_2 = 6$ A

12.

- 30 Ω, 20 Ω e 4 Ω em paralelo equivalem a 3 Ω.
- 4 Ω e 4 Ω em paralelo equivalem a 2 Ω.

$U = (3 + 2)\,i \Rightarrow 40 = 5\,i \Rightarrow \boxed{i = i_4 = 8\ A}$

$$\boxed{i_5 = i_6 = \frac{i_4}{2} = 4\ A}$$

$U_{AC} = 3\,i = 3 \cdot 8 \Rightarrow U_{AC} = 24\ V$

$i_1 = \frac{U_{AC}}{4} = \frac{24}{4} \Rightarrow \boxed{i_1 = 6\ A}$

$i_2 = \frac{U_{AC}}{20} = \frac{24}{20} \Rightarrow \boxed{i_2 = 1{,}2\ A}$

$i_3 = \frac{U_{AC}}{30} = \frac{24}{30} \Rightarrow \boxed{i_3 = 0{,}8\ A}$

Resposta: i = 8 A; $i_1 = 6$ A; $i_2 = 1{,}2$ A; $i_3 = 0{,}8$ A; $i_4 = 8$ A; $i_5 = 4$ A; $i_6 = 4$ A

13.

$$Pot_{máx} = \frac{U^2}{R_{eq_{mín}}} \quad (\textbf{U}\ \text{constante})$$

A mínima resistência equivalente é obtida associando-se em paralelo todos os resistores disponíveis.

Resposta: d

14.

U é igual para as duas lâmpadas:

- $Pot = \frac{U^2}{R} \Rightarrow Pot_1 < Pot_2 \Rightarrow \boxed{R_1 > R_2}$
- $i = \frac{U}{R} \Rightarrow R_1 > R_2 \Rightarrow \boxed{i_1 < i_2}$

Resposta: d

15.

- Para qualquer posição da chave, o valor de **U** entre os terminais do chuveiro é o mesmo.
- $Pot_A = \frac{U^2}{R_1}$: maior potência $\Rightarrow$ $\boxed{\text{A: inverno}}$
- $Pot_C = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$: chuveiro operando com potência menor $\Rightarrow$

  $\Rightarrow$ $\boxed{\text{C: verão}}$
- $\boxed{\text{B: desligado}}$

Resposta: A: inverno, **B**: desligado, **C**: verão

17.

a)

- $i = \frac{Pot}{U} \begin{cases} i_L = \frac{100}{200} \Rightarrow i_L = 0,5 \text{ A} \\ i_F = \frac{1000}{200} \Rightarrow i_F = 5 \text{ A} \\ i_T = \frac{400}{200} \Rightarrow i_T = 2 \text{ A} \end{cases}$
- $i_{máx} = 4i_L + 2i_F + i_T = 2 + 10 + 2$

  $\boxed{i_{máx} = 14 \text{ A}}$

b) $Pot_{máx} = 4 \cdot 100 + 2 \cdot 1\,000 + 400$

$Pot_{máx} = 2\,800 \text{ W} = 2,8 \text{ kW}$

$E = Pot_{máx}\, \Delta t = 2,8 \text{ kW} \cdot 2 \text{ h}$

$\boxed{E = 5,6 \text{ kWh}}$

Respostas: a) 14 A; b) 5,6 kWh

18.

Dado que a ddp **U** nessa rede é constante, e como **U** é igual para todos os componentes dela, temos:

- $i_Q = i_F = \frac{U}{R_F}$ independentemente de a geladeira estar ou não funcionando.
- $i_P = \frac{U}{R_L} + \frac{U}{R_L} + \frac{U}{R_F} +$ 0 (geladeira não funcionando) ou i_G (geladeira funcionando)

Resposta: b

19.

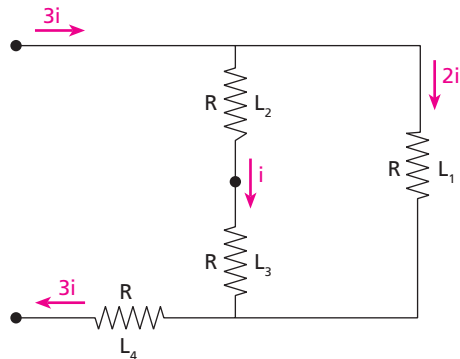
$Pot_{máx} = Pot_{Gel} + Pot_{Mic} + Pot_{Tor}$

$Pot_{máx} = 120 \text{ W} + 900 \text{ W} + 850 \text{ W} = 1\,870 \text{ W}$

$Pot_{máx} = U\, i_{máx} \Rightarrow 1\,870 = 120 i_{máx}$

$\boxed{i_{máx} \cong 15,6 \text{ A}}$

Resposta: d

21.

$Pot_1 = R\,(2i)^2 = 4\,R\,i^2$
$Pot_2 = R\,i^2$
$Pot_3 = R\,i^2$
$Pot_4 = R\,(3i)^2 = 9\,R\,i^2$

Resposta: e

22.

a)
- 6 Ω e 4 Ω em paralelo ⇒ 2,4 Ω
- 5 Ω e 3 Ω em série ⇒ 8 Ω
- 8 Ω e 2 Ω em paralelo ⇒ 1,6 Ω
- 2,4 Ω em série com 1,6 Ω ⇒ $\boxed{R_{AB} = 4\ \Omega}$

b)
- 7 Ω e 3 Ω em série ⇒ 10 Ω
- 10 Ω e 10 Ω em paralelo ⇒ 5 Ω
- 5 Ω e 3 Ω em série ⇒ 8 Ω
- 8 Ω e 8 Ω em paralelo ⇒ 4 Ω
- 5 Ω, 4 Ω e 5 Ω em série ⇒ $\boxed{R_{AB} = 14\ \Omega}$

c)
- 1 Ω e 3 Ω em série ⇒ 4 Ω
- 4 Ω e 4 Ω em paralelo ⇒ 2 Ω
- 2 Ω e 2 Ω em série ⇒ 4 Ω
- 4 Ω e 4 Ω em paralelo ⇒ 2 Ω
- 2 Ω e 2 Ω em série ⇒ 4 Ω
- 4 Ω e 4 Ω em paralelo ⇒ 2 Ω
- 2 Ω e 1 Ω em série ⇒ $\boxed{R_{AB} = 3\ \Omega}$

Respostas: a) 4 Ω; b) 14 Ω; c) 3 Ω

23.

a) Lendo os gráficos:

$U_1 = 4 \text{ V} \Rightarrow i_1 = 0,20 \text{ A}$

$i_2 = 0,20 \text{ A} \Rightarrow \boxed{U_2 = 8 \text{ V}}$

b) $i_1 = 0,30 \text{ A} \Rightarrow U_1 = 6 \text{ V}$

$U_2 = 6 \text{ V} \Rightarrow \boxed{i_2 = 0,15 \text{ A}}$

Respostas: a) 8 V; b) 0,15 A

24.

- Em cada lâmpada: $U_L = \frac{120 \text{ V}}{20} = 6 \text{ V}$
- $Pot_L = \frac{U_L^2}{R_L} \Rightarrow 5 = \frac{6^2}{R_L} \Rightarrow R_L = 7,2\ \Omega$
- R_{fio} deve ser igual a R_L: $\boxed{R_{fio} = 7,2\ \Omega}$

Resposta: 7,2 Ω

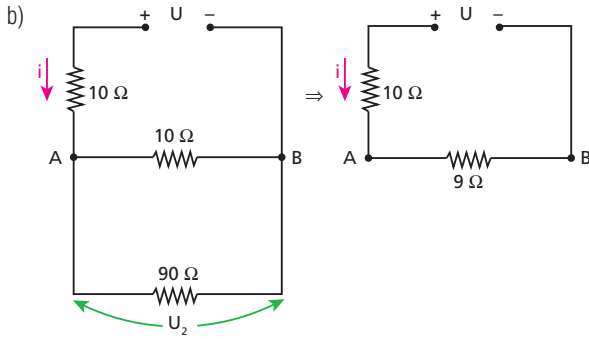
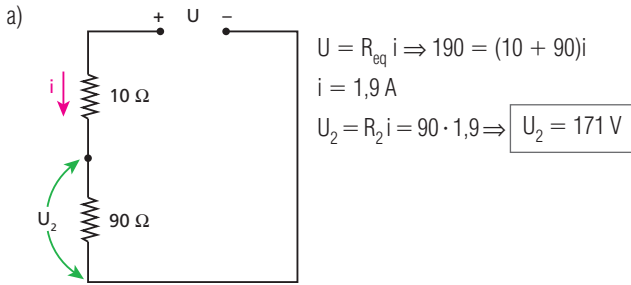
26.

a)

$U = R_{eq}\, i \Rightarrow 190 = (10 + 90)i$

$i = 1{,}9\ A$

$U_2 = R_2 i = 90 \cdot 1{,}9 \Rightarrow$ $\boxed{U_2 = 171\ V}$

b)

$$\frac{10 \cdot 90}{10 + 90} = 9$$

$U = R_{eq}\, i \Rightarrow 190 = (10 + 9)i$

$i = 10\ A$

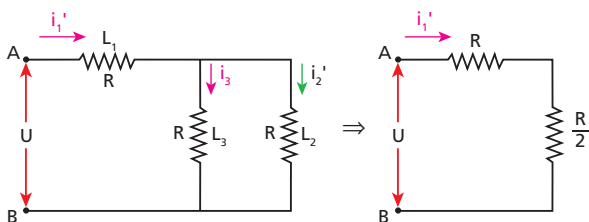
$U_2 = U_{AB} = 9i = 9 \cdot 10$

$\boxed{U_2 = 90\ V}$

Respostas: a) 171 V; b) 90 V

27.

Chave aberta: $\boxed{i_1 = i_2 = \dfrac{U}{2R}}$

Chave fechada:

- $i_1' = \dfrac{U}{R + \dfrac{R}{2}} = \dfrac{2U}{3R} \Rightarrow$ $\boxed{i_1' > i_1 \text{ e o brilho de } L_1 \text{ aumenta.}}$
- $i_2' = i_3 \Rightarrow i_2' = \dfrac{i_1'}{2} = \dfrac{U}{3R} \Rightarrow$

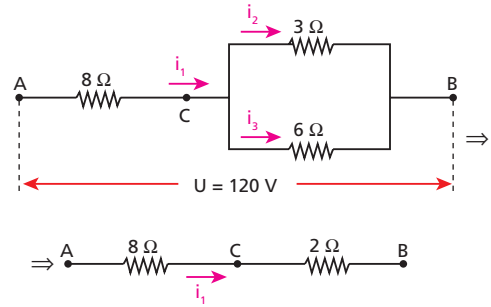
$\Rightarrow$ $\boxed{i_2' < i_2 \text{ e o brilho de } L_2 \text{ diminui.}}$

Resposta: Aumenta e diminui, respectivamente.

28.

Como as resistências dos fusíveis são iguais, a intensidade de corrente é a mesma em todos eles, podendo valer até 4 A em cada um. Assim, o máximo valor de **i** é 12 A.

Resposta: d

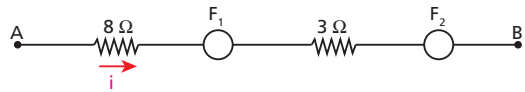
29.

$U_{AB} = R_{AB}\, i_1 \Rightarrow 120 = 10i_1 \Rightarrow i_1 = 12\ A$

$U_{CB} = R_{CB}\, i_1 \Rightarrow U_{CB} = 2 \cdot 12 \Rightarrow U_{CB} = 24\ V$

$i_2 = \dfrac{24}{3} \Rightarrow i_2 = 8\ A$

$i_3 = \dfrac{24}{6} \Rightarrow i_3 = 4\ A$

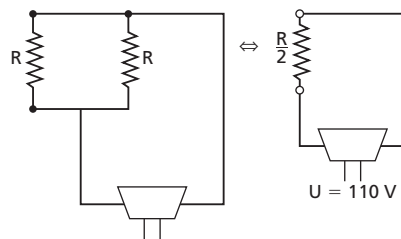
Sendo $i_1 = 12$ A, $i_2 = 8$ A e $i_3 = 4$ A, concluímos que o fusível F_3 queima. Após a queima de F_3, porém, a corrente no circuito altera-se:

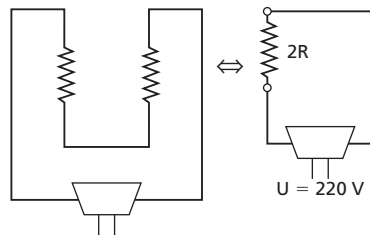
A — 8 Ω — F_1 — 3 Ω — F_2 — B (corrente i)

$U_{AB} = R_{AB}\, i \Rightarrow 120 = 11i \Rightarrow$ $\boxed{i \cong 10{,}9\ A}$

Concluímos, então, que o fusível F_2 também queima.

Resposta: F_2 e F_3

31.

Cálculo de P(110):

$$P(110) = \frac{U^2}{R_{eq}} = \frac{110^2}{\frac{R}{2}} = \frac{2 \cdot 110 \cdot 110}{R}$$

Cálculo de P(220):

$$P(220) = \frac{U^2}{R_{eq}} = \frac{220 \cdot 220}{2R}$$

$$\frac{P(220)}{P(110)} = \frac{220 \cdot 220}{2R} \cdot \frac{R}{2 \cdot 110 \cdot 110} = 1$$

$\therefore$ $\boxed{P(220) = P(110)}$

Resposta: b

32.

A intensidade **i** da corrente elétrica é igual em todos os pedaços:

$Pot = R\,i^2$: $\quad R_{maior} \Rightarrow Pot_{maior}$

$\quad R_{menor} \Rightarrow Pot_{menor}$

$R = \dfrac{\rho L}{A}$: $\quad R_{maior} \Rightarrow A_{menor} \Rightarrow$ Pedaço **A**

$\quad R_{menor} \Rightarrow A_{maior} \Rightarrow$ Pedaço **B**

Resposta: A e **B**, respectivamente.

33.

Sendo $R = \dfrac{U^2}{Pot}$, concluímos que a lâmpada **A** tem resistência elétrica maior.

a) Quando são ligadas em série (mesmo **i**), a lâmpada **A** ilumina melhor ($Pot = R\,i^2$).

b) Quando são ligadas em paralelo (mesmo **U**), a lâmpada **B** ilumina melhor $\left(Pot = \dfrac{U^2}{R}\right)$. Nesse caso, operam de acordo com os valores nominais.

Respostas: a) **A**; b) **B**

34.

a) • Usando os valores nominais, Pot = 100 W e U = 110 V, calculamos a resistência **R** de cada lâmpada:

$$Pot = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{Pot} = \frac{110^2}{100} \Rightarrow \boxed{R = 121\,\Omega}$$

• Circuito **A**:

2R em paralelo com 2R $\Rightarrow \boxed{R_{eq} = R = 121\,\Omega}$

• Circuito **B** (ignorando a variação da resistência com a temperatura):

4 resistências R em série $\Rightarrow \boxed{R_{eq} = 4R = 484\,\Omega}$

b) • No circuito **A**, cada lâmpada submete-se à tensão nominal U = 110 V. Então:

$$\boxed{Pot = \frac{U^2}{R} = 100\text{ W}}$$

• No circuito **B**, cada lâmpada submete-se a uma tensão

$$U' = \frac{220\text{ V}}{4} = 55\text{ V} = \frac{U}{2}$$

Então, temos:

$$Pot' = \frac{U'^2}{R} = \frac{\left(\frac{U}{2}\right)^2}{R} = \frac{1}{4}\,\frac{U^2}{R} = \frac{1}{4}\,Pot \Rightarrow$$

$$\boxed{Pot' = 25W}$$

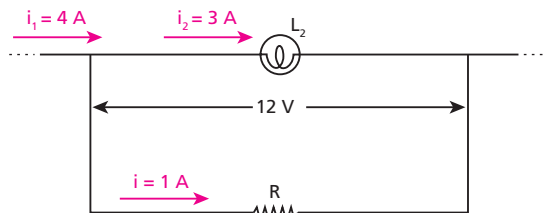
Melhor iluminação: circuito A.

Respostas:

a) Cada lâmpada: 121 Ω
Circuito **A**: 121 Ω
Circuito **B**: 484 Ω

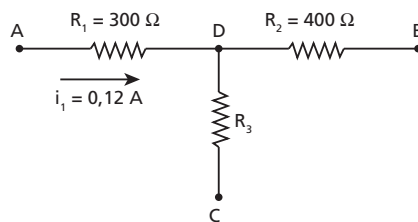
b) Circuito **A**: 100 W
Circuito **B**: 25 W
Melhor iluminação: circuito **A**.

36.

$$i = \frac{Pot}{U}\begin{cases} E_m\ L_1:\ i_1 = \dfrac{80}{20} \Rightarrow i_1 = 4\text{ A} \\ E_m\ L_2:\ i_2 = \dfrac{36}{12} \Rightarrow i_2 = 3\text{ A}\end{cases}$$

As tensões em L_2 e em **R** são iguais. Assim:

$R\,i = 12 \Rightarrow R \cdot 1 = 12 \Rightarrow \boxed{R = 12\,\Omega}$

Resposta: 12 Ω

38.

$U_{AB} = 0 \Rightarrow \nu_A = \nu_B$

$U_{AD} = R_1\,i_1 = 300 \cdot 0{,}12 \Rightarrow \boxed{U_{AD} = 36\text{ V}}$

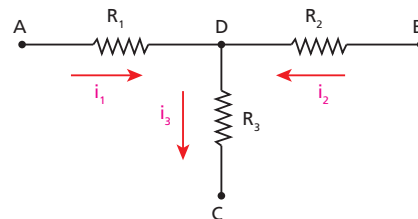
$\nu_A - \nu_D = 36$ V

Como $\nu_A = \nu_B$, temos: $\nu_B - \nu_D = 36$ V

Então, como ν_B é maior que ν_D, o sentido da corrente em R_2 é de **B** para **D**:

$U_{BD} = R_2\,i_2$

$36 = 400\,i_2$

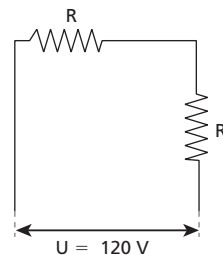
$\boxed{i_2 = 0{,}09\text{ A}}$

Portanto: $i_3 = i_1 + i_2 = 0{,}12 + 0{,}09 \Rightarrow \boxed{i_3 = 0{,}21\text{ A}}$

Resposta: d

Página 155

40.

a) $Pot_L = \dfrac{U_L{}^2}{R_L} \Rightarrow R_L = \dfrac{U_L{}^2}{Pot_L} = \dfrac{80^2}{40} \Rightarrow \boxed{R_L = 160\,\Omega}$

b)

• $i_L = \dfrac{Pot_L}{U_L} = \dfrac{40}{80} \Rightarrow i_L = 0{,}5$ A

• $U = (R + R_L)\,i_L$

$120 = (R + 160)\,0{,}5 \Rightarrow \boxed{R = 80\,\Omega}$

c) Diminui porque **R** aumenta.

Respostas: a) 160 Ω; b) 80 Ω; c) Diminui

42.

a) $R_{AB} = 50 + 150 \rightarrow \boxed{R_{AB} = 200\ \Omega}$

b) $R_{AB} = \dfrac{12 \cdot 8}{12 + 8} \rightarrow \boxed{R_{AB} = 4{,}8\ \Omega}$

c) $\boxed{R_{AB} = 0}$

Respostas: a) 200 Ω; b) 4,8 Ω; c) Zero

43.

- Os resistores só estarão em série se a intensidade de corrente elétrica for necessariamente a mesma em todos eles.
- Os resistores só estarão em paralelo se a diferença de potencial for necessariamente a mesma em todos eles. Associar letras a nós, usando a mesma letra em nós ligados por um condutor ideal, facilita o reconhecimento de resistores em paralelo.

Resposta: d

44.

Observar que:

- não há corrente em R_4, porque é nula a diferença de potencial entre seus terminais (curto-circuito);
- há corrente em R_1 e em R_2, porque a ddp é nula entre **A** e **D**, mas não é entre **A** e **C** e entre **C** e **D**. Também há corrente em R_3.

Resposta: d

45.

Note que o interruptor 2 conectaria condutores que já estão curto-circuitados.

Resposta: b

46.

Notemos que a resistência **R** e a resistência que denominaremos **R'**, do reostato, estão em série. Assim, aplicando-se a 1ª Lei de Ohm, temos:

$U = (R + R')\,i$

Mas U = 100 V, i = 5 A, R = 10 Ω e **R'** é dada pela 2ª Lei de Ohm

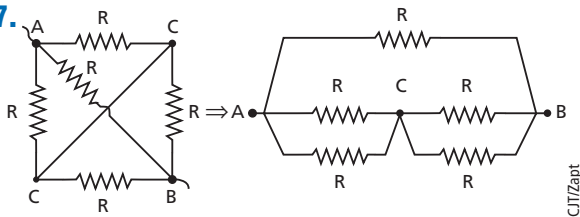
$\left(R' = \rho\,\dfrac{\ell}{A}\right)$, em que $\rho = 5 \cdot 10^{-5}\ \Omega m$,

$A = 2\ mm^2 = 2 \cdot 10^{-6}\ m^2$, e $\ell = x$. Então:

$$100 = \left(10 + 5 \cdot 10^{-5}\,\frac{x}{2 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot 5$$

$20 = 10 + 25x \Rightarrow \boxed{x = 0{,}4\ m}$

Resposta: 0,4 m

47.

$\boxed{R_{AB} = \dfrac{R}{2}}$

Resposta: $\dfrac{R}{2}$

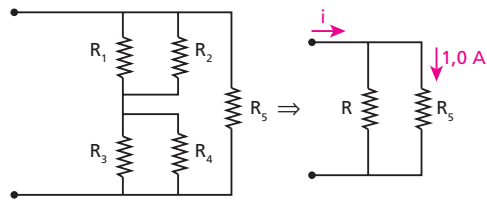
48.

a)
- Eliminamos os resistores de 7 Ω e 3 Ω, em série, porque estão curto-circuitados.
- 2 Ω, 5 Ω e 3 Ω em série ⇒ 10 Ω
- 10 Ω e 10 Ω em paralelo ⇒ 5 Ω
- 2 Ω, 5 Ω e 3 Ω em série ⇒ $\boxed{R_{AB} = 10\ \Omega}$

b)
- 80 Ω e 80 Ω em paralelo ⇒ 40 Ω
- 40 Ω e 60 Ω em série ⇒ 100 Ω
- 100 Ω e 100 Ω em paralelo ⇒ 50 Ω
- 50 Ω e 150 Ω em série ⇒ 200 Ω
- 200 Ω e 200 Ω em paralelo ⇒ $\boxed{R_{AB} = 100\ \Omega}$

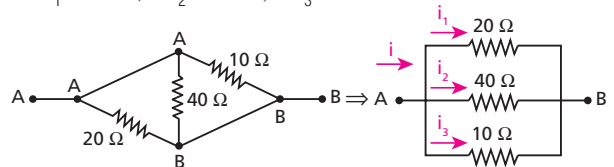
Respostas: a) 10 Ω; b) 100 Ω

49.

Redesenhando o circuito, temos:

Como as resistências são iguais, associando R_1, R_2, R_3 e R_4, encontramos **R**, que é igual a R_5. Assim: i = 2,0 A

Resposta: 2,0 A

50.

$R_1 = 20\ \Omega$; $R_2 = 40\ \Omega$; $R_3 = 10\ \Omega$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40} + \frac{1}{10} \Rightarrow \boxed{R_{eq} = \frac{40}{7}\ \Omega}$$

$\boxed{i = i_1 + i_2 + i_3 = 21\ A}$

$U_{AB} = R_{eq}\, i = \dfrac{40}{7}\ 21 \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 120\ V}$

Resposta: e

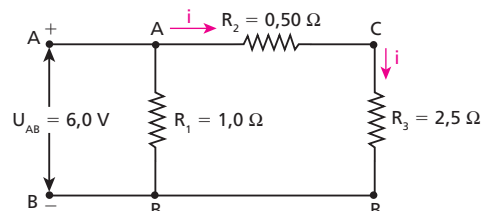
Página 162

52.

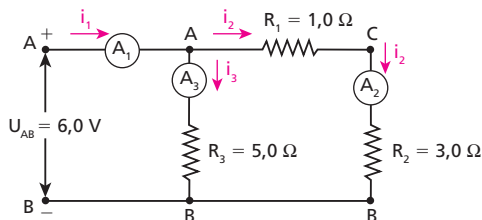
Em $\mathbf{R_2}$, temos: $U = R_2\, i_2 = 6 \cdot 4 \Rightarrow U = 24\ V$

Em $\mathbf{R_1}$, temos: $U = R_1\, i_1 \Rightarrow 24 = R_1 \cdot 6 \Rightarrow \boxed{R_1 = 4\ \Omega}$

Resposta: 4 Ω

53.

- Indicação de V_1: $\boxed{U_{AB} = 6{,}0\ V}$
- Cálculo de i: $U_{AB} = (R_2 + R_3)i \Rightarrow 6{,}0 = 3{,}0i \Rightarrow i = 2{,}0\ A$
- Indicação de V_2: $U_{AC} = R_2 i = 0{,}50 \cdot 2{,}0 \Rightarrow \boxed{U_{AC} = 1{,}0\ V}$
- Indicação de V_3: $U_{CB} = R_3 i = 2{,}5 \cdot 2{,}0 \Rightarrow \boxed{U_{CB} = 5{,}0\ V}$

Resposta: V_1: 6,0 V; V_2: 1,0 V; V_3: 5,0 V

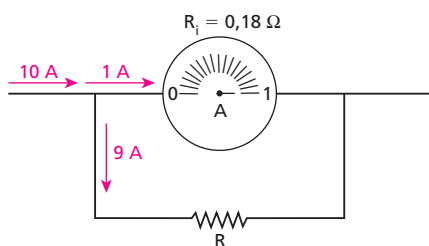
54.

- Em R_3: $U_{AB} = R_3\, i_3 \Rightarrow 6{,}0 = 5{,}0 i_3 \Rightarrow$
  $\Rightarrow \boxed{i_3 = 1{,}2\ A}$ (indicação de A_3)
- No ramo ACB: $U_{AB} = (R_1 + R_2)\, i_2 \Rightarrow 6{,}0 = 4{,}0 i_2 \Rightarrow$
  $\Rightarrow \boxed{i_2 = 1{,}5\ A}$ (indicação de A_2)
- $i_1 = i_2 + i_3 = 1{,}5 + 1{,}2 \Rightarrow \boxed{i_1 = 2{,}7\ A}$ (indicação de A_1)

Resposta: A_1: 2,7 A; A_2: 1,5 A; A_3: 1,2 A

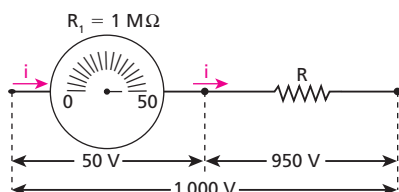
56. Observe que o trecho B — C — E — D é uma ponte de Wheatstone equilibrada. Assim, é nula a ddp entre os pontos **C** e **D**.
Resposta: C e **D**.

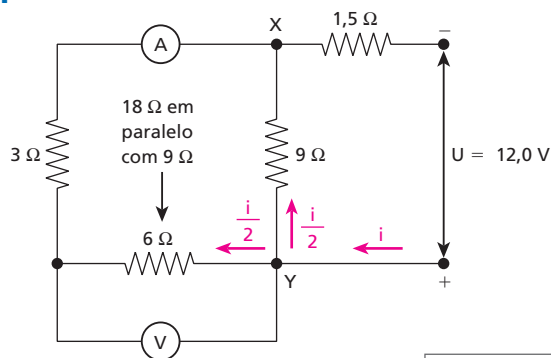
57. $100R = 4 \cdot 50 \Rightarrow \boxed{R = 2\ \Omega}$
Resposta: 2 Ω

59.

$R \cdot 9 = 0{,}18 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{R = 0{,}02\ \Omega}$

Resposta: 0,02 Ω, em paralelo com o medidor

61.

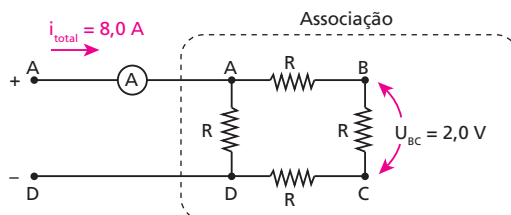
$$\frac{50\ V}{1\ M\Omega} = \frac{950\ V}{R} \Rightarrow \boxed{R = 19\ M\Omega}$$

Resposta: 19 MΩ, em série com o voltímetro

62.

a) $U = R_{eq}\, i \Rightarrow 12 = (1{,}5 + 4{,}5)\, i \Rightarrow i = 2{,}0\ A \Rightarrow \boxed{\frac{i}{2} = 1{,}0\ A}$

b) $U = R\, i = 1{,}5 \cdot 2{,}0 \Rightarrow \boxed{U = 3{,}0\ V}$

c) $Pot = R\left(\frac{i}{2}\right)^2 = 9 \cdot 1^2 \Rightarrow \boxed{Pot = 9{,}0\ W}$

Respostas: a) 1,0 A; b) 3,0 V; c) 9,0 W

63.

Como as resistências entre **A** e **B**, **B** e **C**, **C** e **D** são iguais e, além disso, são percorridas pela mesma corrente, temos:
$U_{AB} = U_{BC} = U_{CD} = 2{,}0\ V$
Então: $U_{AD} = 2{,}0\ V + 2{,}0\ V + 2{,}0\ V \Rightarrow \boxed{U_{AD} = 6{,}0\ V}$

Assim, a potência total dissipada na associação é dada por:
$Pot_{total} = U_{AD}\, i_{total} = 6{,}0 \cdot 8{,}0$

$\boxed{Pot_{total} = 48\ W}$

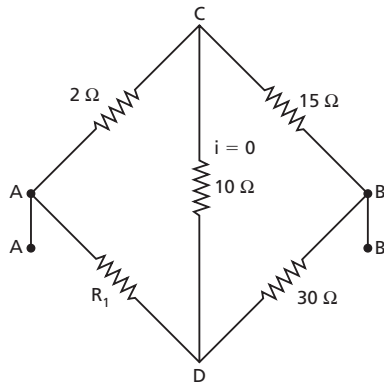
Resposta: d

64.

Seja **R** a resistência elétrica do resistor.
Quando o cursor do reostato encontra-se em **M**, temos, para o circuito:
$\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 12 = R \cdot 1{,}0 \Rightarrow R = 12\ \Omega$
A potência dissipada no resistor é dada por:
$P_M = R\, i^2 \Rightarrow P_M = 12 \cdot 1{,}0^2 \Rightarrow P_M = 12\ W$
Quando o cursor do reostato encontra-se em **N**, temos, para o circuito:
$\varepsilon = R'_{eq}\, i' \Rightarrow 12 = (12 + 6{,}0) \cdot i' \Rightarrow i' = \frac{2}{3}\ A$
A potência dissipada no resistor é dada por:
$P_N = Ri'^2 \Rightarrow P_N = 12 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 \Rightarrow P_N = \frac{48}{9}\ W$
Então, podemos calcular a razão pedida:

$$\frac{P_M}{P_N} = \frac{12}{\frac{48}{9}} \Rightarrow \boxed{\frac{P_M}{P_N} = \frac{9}{4}}$$

Resposta: $\frac{9}{4}$

65.

$2 \cdot 30 = 15R_1 \Rightarrow \boxed{R_1 = 4\ \Omega}$

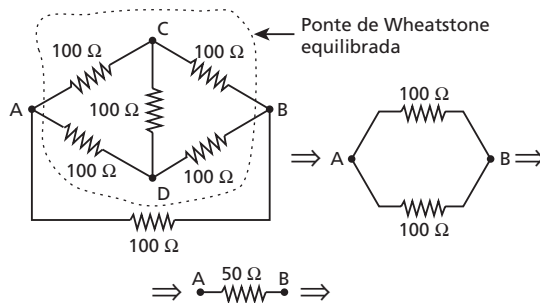
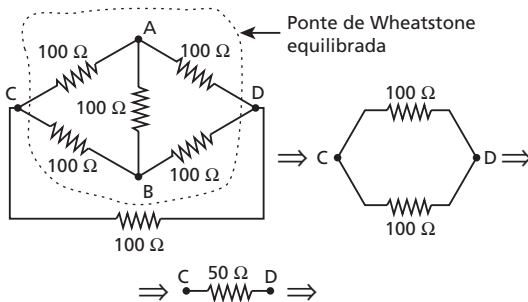
Resposta: 4 Ω

66.

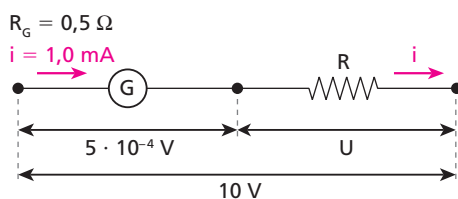
$$\begin{matrix} 120\ \text{cm} \longrightarrow 60\ \Omega \\ 20\ \text{cm} \longrightarrow 10\ \Omega \end{matrix} \Rightarrow \begin{cases} R_{AC} = 10\ \Omega \text{ e} \\ R_{CB} = 50\ \Omega \end{cases}$$

No equilíbrio: $500(100 + 10) = R \cdot 50 \Rightarrow \boxed{R = 1{,}1\ \text{k}\Omega}$

Resposta: 1,1 kΩ

67.

$R_{AB} = 50\ \Omega$

$\boxed{R_{CD} = 50\ \Omega}$

Resposta: b

68.

$U + 5 \cdot 10^{-4} = 10 \Rightarrow U \cong 10 \Rightarrow R\,i \cong 10$

$R \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-3} \cong 10 \Rightarrow \boxed{R \cong 10\ \text{k}\Omega}$ (em série)

Resposta: 10 kΩ, em série.

69.

a) $n = \dfrac{5\ \text{A}}{100\ \text{div}} \Rightarrow \boxed{n = 0{,}05\ \text{A/div}}$

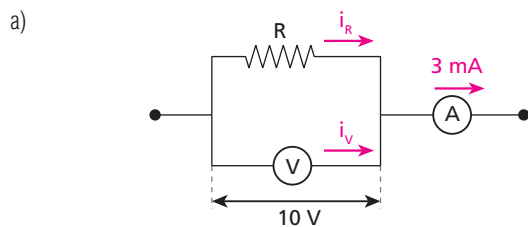
b) O resistor deve ser associado em paralelo com o amperímetro. Desse modo, quando uma corrente de 20 A atingir a associação, 5 A deverão passar pelo amperímetro e 15 A pelo resistor de resistência **R**, calculada por: $1{,}8 \cdot 5 = R \cdot 15 \Rightarrow \boxed{R = 0{,}6\ \Omega}$

c) As 100 divisões da escala correspondem, agora, a 20 A. Assim:

$$n' = \frac{20\ \text{A}}{100\ \text{div}} \Rightarrow \boxed{n' = 0{,}2\ \text{A/div}}$$

Respostas: a) 0,05 A/divisão; b) 0,6 Ω, em paralelo com o amperímetro; c) 0,2 A/divisão

70.

a)

- $U_R = U_V = 10\ \text{V}$
- $U_V = R_V\, i_V \Rightarrow 10\ \text{V} = 10\ \text{k}\Omega \cdot i_V \Rightarrow i_V = 1\ \text{mA e } i_R = 2\ \text{mA}$
- $R = \dfrac{U_R}{i_R} = \dfrac{10\ \text{V}}{2\ \text{mA}} \Rightarrow \boxed{R = 5\ \text{k}}$

b) $Pot_R = U_R\, i_R = 10\ \text{V} \cdot 2\ \text{mA} \Rightarrow \boxed{Pot_R = 20\ \text{mW}}$

Respostas: a) 5 kΩ; b) 20 mW

71.

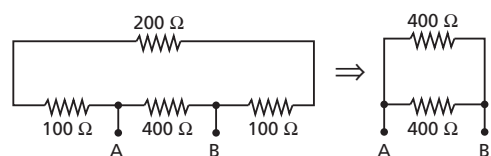
$$\frac{(R_1 + R_0)\ R_1}{(R_1 + R_0) + R1} + R_1 = R_0$$

$$R_1^2 + R_0 R_1 + 2R_1^2 + R_0 R_1 = 2R_0 R_1 + R_0^2$$

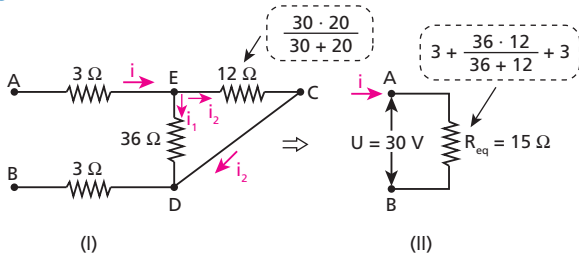
$$3R_1^2 = R_0^2 \Rightarrow \boxed{R_1 = \frac{R_0\sqrt{3}}{3}}$$

Resposta: $R_1 = \dfrac{R_0\sqrt{3}}{3}$

72.

Os resistores de 300 Ω e 600 Ω estão **em paralelo**. Assim:

$\boxed{R_{AB} = 200\ \Omega}$

Resposta: 200 Ω

73.

Em (II): $U = R_{eq}\, i \Rightarrow 30_2 = 15i \Rightarrow \boxed{i = 2\text{ A}}$

Em (I): $\left.\begin{array}{l} 12i_2 = 36i_1 \Rightarrow i_2 = 3i_1 \\ i_1 + i_2 = i \Rightarrow i_1 + i_2 = 2 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{i_2 = 1{,}5\text{ A}}$

Resposta: 1,5 A

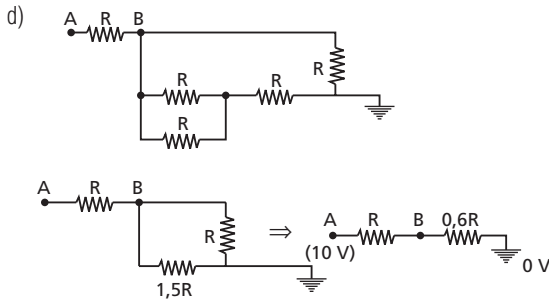
74.

a) Como a resistência é nula de **B** até a Terra, temos:

$R_{eq} = R \Rightarrow \boxed{R_{eq} = 10\ \Omega}$

b) Em virtude do que foi dito em "a": $\boxed{i_D = 0}$

c) É o mesmo da Terra: $\boxed{\nu_B = 0}$

d)

$R_{eq} = R + 0{,}6R = 1{,}6R \Rightarrow \boxed{R_{eq} = 16\ \Omega}$

e) $Pot = \dfrac{U^2}{R_{eq}} = \dfrac{10^2}{16} \Rightarrow \boxed{Pot = 6{,}25\text{ W}}$

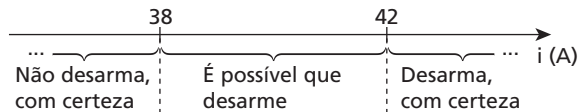
Respostas: a) 10 Ω; b) Zero; c) Zero; d) 16 Ω; e) 6,25 W

75.

a) Considerando a margem de erro (tolerância) do disjuntor, temos:

40 A + 5% de 40 A = 42 A

40 A − 5% de 40 A = 38 A

Portanto:

$\boxed{\text{38 A e 42 A, respectivamente}}$

b) $Pot = U\,i \Rightarrow 3\,960 + 880 = 110i \Rightarrow i = 44\text{ A}$

Portanto, o chuveiro e o ferro não podem ser ligados juntos.

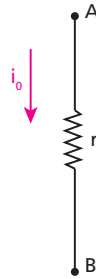
c) $Pot = U\,i \Rightarrow Pot_{total} < 110 \cdot 38 \Rightarrow Pot_{total} < 4\,180\text{ W}$

$Pot_{chuv} = 3\,960\text{ W} \Rightarrow Pot_{lamp} < 220\text{ W}$

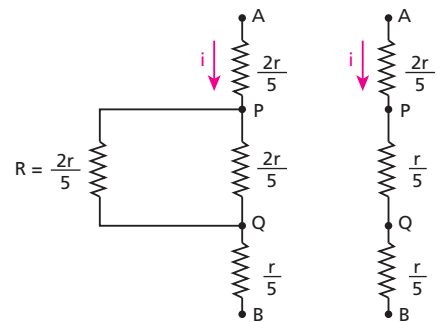
$n \cdot 40\text{ W} < 220\text{ W}$

$n < 5{,}5 \Rightarrow \boxed{n = 5}$

Respostas: a) 38 A e 42 A, respectivamente; b) Não; c) 5

76.

Chave aberta: Chave fechada:

$R = 0{,}40\,r = \dfrac{2r}{5}$

$U_{AB} = r\,i_0$ (I)

$\overline{AP} = \dfrac{2L}{5} \Rightarrow R_{AP} = \dfrac{2r}{5}$

$\overline{QB} = \dfrac{L}{5} \Rightarrow R_{QB} = \dfrac{r}{5}$

$\overline{PQ} = \dfrac{2L}{5} \Rightarrow R_{PQ} = \dfrac{2r}{5}$

$R_{AB} = \dfrac{2r}{5} + \dfrac{r}{5} + \dfrac{r}{5} + \dfrac{4r}{5}$

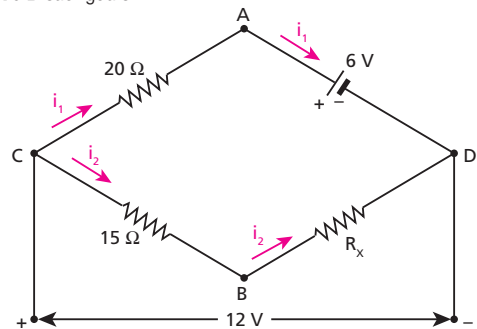
Supondo que U_{AB} não se alterou, temos: $U_{AB} = R_{AB}\, i = \dfrac{4r}{5} i$ (II)

Comparando (I) com (II), vem:

$r\,i_0 = \dfrac{4r}{5} i \Rightarrow i = \dfrac{5i_0}{4} = \dfrac{5 \cdot 6{,}00}{4} \Rightarrow \boxed{i = 7{,}5\text{ A}}$

Resposta: a

77.

Sendo nula a corrente no galvanômetro, concluímos que os potenciais nos pontos **A** e **B** são iguais:

$\nu_A = \nu_B \Rightarrow \begin{cases} U_{AD} = U_{BD} = 6\text{ V} \\ U_{CA} = U_{CB} = 12\text{ V} - 6\text{ V} = 6\text{ V} \end{cases}$

Entre **C** e **B**, temos: $U_{CB} = R_{CB}\, i_2 \Rightarrow 6 = 15i_2 \Rightarrow \boxed{i_2 = 0{,}4\text{ A}}$

Entre **C** e **A**, temos: $U_{CA} = R_{CA}\, i_1 \Rightarrow 6 = 20i_1 \Rightarrow \boxed{i_1 = 0{,}3\text{ A}}$

Resposta: $i_1 = 0{,}3$ A e $i_2 = 0{,}4$ A

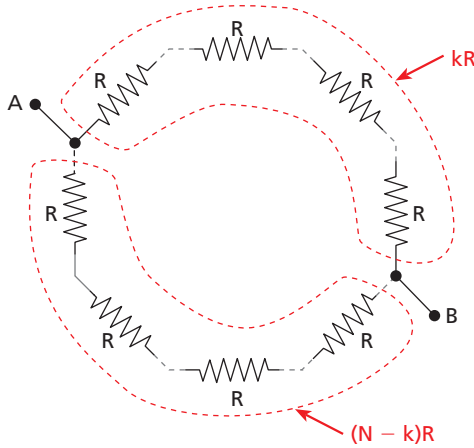
78.

- $R_T\, R = 8{,}0 \cdot 10 \begin{cases} R_{T_0} \cdot 4{,}00 = 80 \Rightarrow R_{T_0} = 20\ \Omega \\ R_T \cdot 2{,}00 = 80 \Rightarrow R_T = 40\ \Omega \end{cases}$
- $R_T = R_{T_0}(1 + \alpha \cdot \Delta\theta) \Rightarrow \Delta R_T = \alpha\, R_{T_0}\, \Delta\theta \Rightarrow$

  $\Rightarrow (40 - 20) = 4{,}00 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot \Delta\theta \Rightarrow$

  $\Rightarrow \boxed{\Delta\theta = 250\ °\text{C}}$

Resposta: e

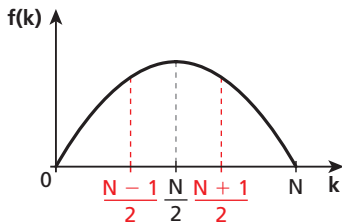
79.

Entre os vértices **A** e **B** do polígono, temos **k** resistores em um ramo e (N − k) no outro:

$$R_{AB} = \frac{(kR)[(N - k)R]}{(kR) + (N - k)R} = \frac{R}{N}(Nk - k^2)$$

Queremos que R_{AB} seja máxima. Para isso, a função $f(k) = \underbrace{-1}_{a}k^2 + \underbrace{N}_{b}k$ deve ser máxima:

$$k = \frac{-b}{2a} = \frac{-N}{-2} = \frac{N}{2}$$

Então, se **N** for **par**, deve-se medir R_{AB} entre dois vértices que dividam o polígono em dois ramos com $\frac{N}{2}$ resistores em cada um. Para **N ímpar**, $\frac{N}{2}$ não é inteiro. Devemos, então, tomar os valores inteiros de **k** mais próximos do ponto de máximo de f(k). São eles:

$$k = \frac{N+1}{2} \text{ e } k = \frac{N-1}{2}$$

Resposta:
Entre dois vértices que dividam o polígono em dois ramos:

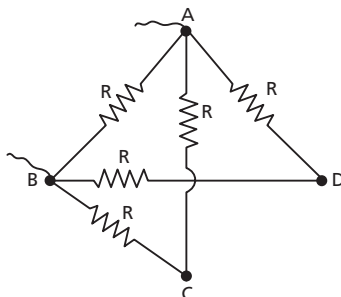
- com $\frac{N}{2}$ resistores cada um, se **N** for par;
- com $\frac{N+1}{2}$ resistores em um e $\frac{N-1}{2}$ no outro, se **N** for ímpar.

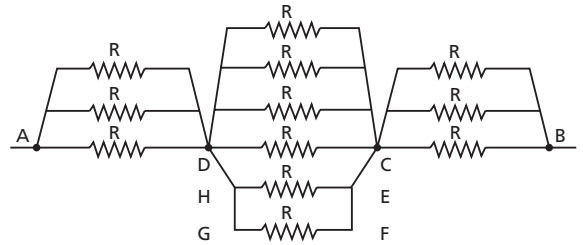
80.

Devido à simetria, os pontos **C** e **D** estão no mesmo potencial. Consequentemente, o resistor entre **C** e **D** não participa do circuito, que fica reduzido a esta configuração ao lado:

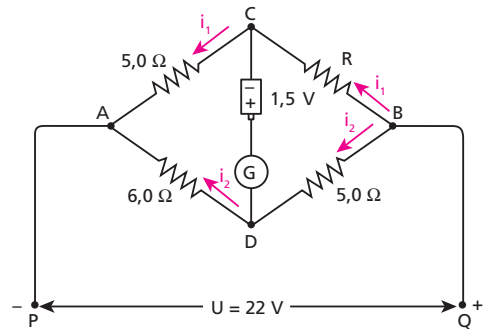
Temos, então, 2R, 2R e **R**, todas em paralelo. Portanto:

$$\boxed{R_{eq} = \frac{R}{2}}$$

Resposta: $\frac{R}{2}$

81.

Devido à simetria, os pontos **D**, **H** e **G** estão no mesmo potencial, o mesmo ocorrendo com os pontos **C**, **E** e **F**. Por isso, os pontos **D**, **H** e **G** podem ser unidos entre si, e os pontos **C**, **E** e **F** também.

$$R_{eq} = \frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} \Rightarrow \boxed{R_{eq} = \frac{5R}{6}}$$

Resposta: $\frac{5R}{6}$

82.

No trecho PADBQ, temos:

$22 = (5{,}0 + 6{,}0)\, i_2 \Rightarrow i_2 = 2{,}0$ A

$\nu_B - \nu_D = 5i_2 = 5 \cdot 2 \Rightarrow \nu_B - \nu_D = 10$ V (I)

$\nu_D - \nu_C = 1{,}5$ V (II)

(I) + (II): $\nu_B - \nu_C = 11{,}5$ V

$\nu_C - \nu_A = 22 - 11{,}5 = 10{,}5$ V

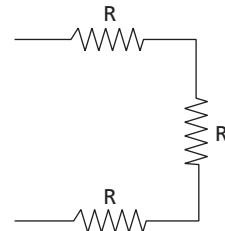
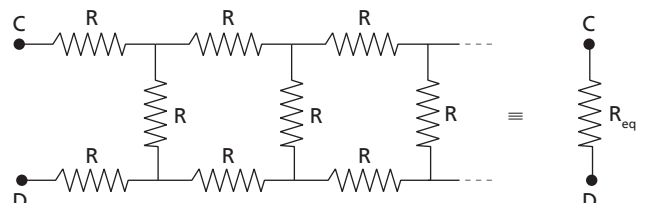
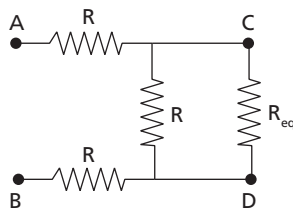
$\nu_C - \nu_A = 5i_1 \Rightarrow 10{,}5 = 5i_1 \Rightarrow i_1 = 2{,}1$ A

$\nu_B - \nu_C = R\, i_1 \Rightarrow 11{,}5 = R \cdot 2{,}1$

$R = 5{,}5\ \Omega$

Resposta: 5,5 Ω

83.

Vamos chamar de "célula" o conjunto de resistores representado a seguir:

Como o número de "células" é infinito, uma a menos (ou a mais) não faz diferença. Então, a resistência equivalente entre **A** e **B** (R_{eq}) é igual à resistência equivalente entre **C** e **D** (primeira "célula" eliminada):

Portanto, a rede original pode ser desenhada como na figura ao lado:

Assim:

$$R_{AB} = R_{eq} = 2R + \frac{R\,R_{eq}}{R + R_{eq}} \Rightarrow R_{eq}^{\,2} - 2\,R\,R_{eq} - 2R^2 = 0$$

$$R_{eq} = \frac{2R \pm 2R\sqrt{3}}{2} = R \pm R\,\sqrt{3} \Rightarrow \boxed{R_{eq} = R\left(1 + \sqrt{3}\right)}$$

A raiz $R\left(1 - \sqrt{3}\right)$ não tem significado físico porque implica R_{eq} negativa.

Resposta: $R\left(1 + \sqrt{3}\right)$

84.

a) $i = \dfrac{V_{AB}}{R_{eq}} = \dfrac{V_{AB}}{R_1 + R_2} = \dfrac{V_{AB}}{\rho_1 \dfrac{L}{S} + \rho_2 \dfrac{L}{S}} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{i = \frac{S}{L\left(\rho_1 + \rho_2\right)} \cdot V_{AB}}$$

b) Vamos representar os contatos **A** e **B** por meio de duas pequenas placas condutoras de áreas **S**, paralelas entre si e distantes 2 L uma da outra, como na figura a seguir.

Supondo que os dois fios ainda não foram ligados aos contatos, temos, entre estes, um campo elétrico de intensidade E_0, **uniforme** (por indução do enunciado).

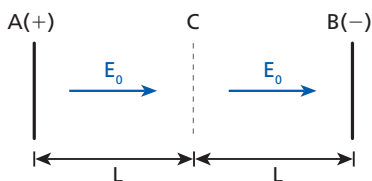
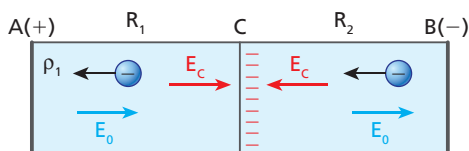



Figura 1

Desse modo, temos, entre **A** e **C** e entre **C** e **B**, diferenças de potencial iguais a $\dfrac{V_{AB}}{2}$.

Vamos, agora, conectar entre **A** e **B** os dois fios citados no enunciado e supor, por exemplo, que ρ_2 seja menor que ρ_1 (portanto, R_2 será menor que R_1).

Imediatamente após essa conexão, os dois fios se submetem a uma mesma tensão $\left(\dfrac{V_{AB}}{2}\right)$ e, como R_2 é menor que R_1, durante um exíguo intervalo de tempo a intensidade da corrente em R_2 é maior que em R_1. Consequentemente, ocorre um "congestionamento" de elétrons na junção **C**, que se acentua até ser atingido o regime estacionário (correntes constantes e iguais nos dois fios):

Assim, a junção **C** fica eletrizada com uma carga negativa **Q**, comportando-se como uma película plana que cria um novo campo elétrico de módulo E_C, que se sobrepõe ao campo de intensidade E_0 e modifica o campo resultante em cada fio. Com isso, as tensões V_{AC} e V_{CB} se ajustam de modo que a corrente elétrica tenha a mesma intensidade **i** nos dois fios.

Da expressão Ed = U, temos, em AC e CB, respectivamente:

$$E_0 + E_C = \frac{V_{AC}}{L} = \frac{R_1\,i}{L} \qquad \text{(I)}$$

$$E_0 - E_C = \frac{V_{CB}}{L} = \frac{R_2\,i}{L} \qquad \text{(II)}$$

Fazendo (I) − (II):

$$2E_C = \left(R_1 - R_2\right)\frac{i}{L} \qquad \text{(III)}$$

Como:

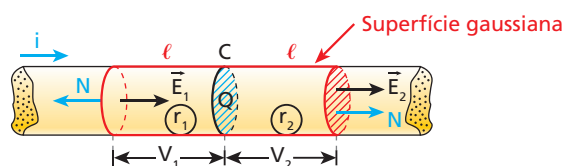
$E_C = \dfrac{|\sigma|}{2\,\epsilon_0} = \dfrac{|Q|}{2\,\epsilon_0\,S}$ e $i = \dfrac{V_{AB}}{R_1 + R_2}$, temos, de (III):

$$2\,\frac{|Q|}{2\,\epsilon_0\,S} = \frac{(R_1 - R_2)}{L} \times \frac{V_{AB}}{R_1 + R_2} = \frac{V_{AB}}{L} \cdot \frac{\left(\dfrac{\rho_1 L}{S} - \dfrac{\rho_2 L}{S}\right)}{\left(\dfrac{\rho_1 L}{S} + \dfrac{\rho_2 L}{S}\right)}$$

$$\frac{|Q|}{\epsilon_0\,S} = \frac{V_{AB}}{L} \times \left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}\right) \Rightarrow |Q| = \frac{\epsilon_0\,S}{L}\left(\frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}\right)V_{AB}$$

Como a carga é negativa: $\boxed{Q = \dfrac{\epsilon_0\,S}{L}\left(\dfrac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}\right)V_{AB}}$

No caso de ρ_1 ser menor que ρ_2, após a conexão dos fios entre **A** e **B**, surgirá uma vacância de elétrons na junção **C**, que, por isso, ficará eletrizada positivamente com carga **Q**, dada pela mesma expressão que acabamos de obter.

Vamos, agora, resolver o item **b** usando o Teorema de Gauss. É uma solução mais prática, porém menos instrutiva.

$$\phi_{total} = \frac{Q_{interna}}{\epsilon_0}$$

$$E_2\,S\cos 0° + E_1\,S\cos 180° = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow E_2 - E_1 = \frac{Q}{\epsilon_0\,S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{V_2}{\ell} - \frac{V_1}{\ell} = \frac{Q}{\epsilon_0\,S} \Rightarrow \frac{r_2\,i}{\ell} - \frac{r_1\,i}{\ell} = \frac{Q}{\epsilon_0\,S} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(r_2 - r_1\right)\frac{i}{\ell} = \frac{Q}{\epsilon_0\,S} \Rightarrow \left(\frac{\rho_2\,\ell}{S} - \frac{\rho_1\,\ell}{S}\right)\frac{i}{\ell} = \frac{Q}{\epsilon_0\,S}$$

Usando a expressão de **i**, determinada no item **a**, obtemos:

$$\left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}\right)\frac{V_{AB}}{L} = \frac{Q}{\epsilon_0\,S} \Rightarrow Q = \frac{\epsilon_0\,S}{L}\left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}\right)V_{AB}$$

Respostas:

a) $i = \dfrac{S}{L\left(\rho_1 + \rho_2\right)}\,V_{AB}$

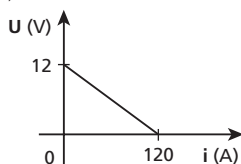
b) $Q = \dfrac{\epsilon_0\,S}{L}\left(\dfrac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}\right)V_{AB}$

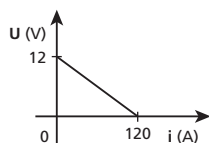
Tópico 3 – Circuitos elétricos

Página 175

2.

a) • $\varepsilon = 12\ V$

• $i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{12}{0,1} \Rightarrow i_{cc} = 120\ A$

b) $i = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{12}{2,0} \Rightarrow \boxed{i = 6,0\ A}$

Respostas: a)

b) 6,0 A

3.

a) $\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 12 = 6,0i \Rightarrow \boxed{i = 2,0\ A}$

b) $U = R\, i = 5,5 \cdot 2,0 \Rightarrow \boxed{U = 11\ V}$

Respostas: a) 2,0 A; b) 11 V

4.

a) $i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r} \Rightarrow 30 = \frac{\varepsilon}{0,2} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = 6\ V}$

b) $\boxed{U = \varepsilon = 6\ V}$

Respostas: a) 6 V; b) 6 V

5.

• $\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 1,5 = 0,5i \Rightarrow i = 3\ A$

• $U = R\, i = 0,4 \cdot 3 \Rightarrow \boxed{U = 1,2\ V}$

Resposta: 1,2 V

6.

a) $i = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{36}{18} \Rightarrow i = 2\ A$

$U = R\, i = 17 \cdot 2 \Rightarrow U = 34\ V$

$Pot_u = U\, i = 34 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{Pot_u = 68\ W}$

b) $Pot_d = r\, i^2 = 1 \cdot 2^2 \Rightarrow \boxed{Pot_d = 4\ W}$

c) $\eta = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{34}{36} \Rightarrow \boxed{\eta = 94\%}$

Respostas: a) 68 W; b) 4 W; c) 94%

8.

$i = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{36}{7,2} \Rightarrow i = 5,0\ A$

$U = R\, i = 7,0 \cdot 5,0 \Rightarrow \boxed{U = 35\ V}$

Resposta: 35 V

10.

1. Correta: $i = 0,00\ A \Rightarrow \boxed{U = \varepsilon = 3,00\ V}$
2. Correta: $U = \varepsilon - r\, i \Rightarrow 1,50 = 3,00 - r \cdot 1,00 \Rightarrow \boxed{r = 1,50\ \Omega}$
3. Falsa: $i = 1,00\ A \Rightarrow \boxed{U = 1,50\ V}$

   $Pot = U\, i = 1,50 \cdot 1,00 \Rightarrow \boxed{Pot = 1,50\ W}$
4. Falsa: $U = 2,25\ V \Rightarrow i = 0,50\ A = 0,50\ \frac{C}{s} \Rightarrow \boxed{Q = 5,0\ C}$

Resposta: Apenas as afirmações 1 e 2 estão corretas.

11.

• Se a bateria for conectada em II, a leitura do voltímetro será nula porque ele estará curto-circuitado pelo amperímetro ideal **A**.

• Se a bateria for conectada em III, a corrente no circuito todo será nula porque ela estará em série com o voltímetro ideal **V**.

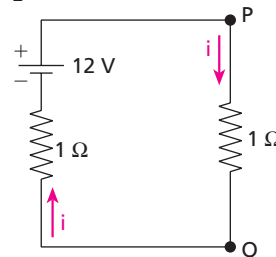
Resposta: a

13.

a)

• $3\ \Omega$ em paralelo com $1,5 \Rightarrow 1\ \Omega$

$i = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{12}{2} \Rightarrow \boxed{i = 6\ A}$ (indicação de **A**)

P
12 V
1 Ω
1 Ω
Q

• $U_{PQ} = R_{PQ}\, i = 1 \cdot 6 \Rightarrow U_{PQ} = 6\ V$

$\mathbf{A_1}$: $U_{PQ} = 1,5i_1 \Rightarrow 6 = 1,5i_1 \Rightarrow \boxed{i_1 = 4\ A}$

$\mathbf{A_2}$: $U_{PQ} = 3i_2 \Rightarrow 6 = 3i_2 \Rightarrow \boxed{i_2 = 2\ A}$

b) A redução da energia química da bateria é igual à energia elétrica total produzida por ela:

$E = Pot_t\, \Delta t = \varepsilon\, i\, \Delta t = 12 \cdot 6 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{E = 360\ J}$

Respostas: a) 6 A, 4 A e 2 A, respectivamente; b) 360 J

14.

Chave aberta: $E = (8,0 + r)\, i_1 \Rightarrow E = (8,0 + r) \cdot 6,0$

Chave fechada: $E = (4,0 + r)\, i_2 \Rightarrow E = (4,0 + r) \cdot 10,0$ $\Big\} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{E = 60\ V}$ e $\boxed{r = 2,0\ \Omega}$

• $Pot_t = E\, i_2 = 60 \cdot 10,0 \Rightarrow \boxed{Pot_t = 600\ W}$

Resposta: $E = 60\ V$; $r = 2,0\ \Omega$; $Pot_t = 600\ W$

15.

• R_2 em paralelo com $R_3 \Rightarrow 3\ \Omega$

• $i_1 = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{80}{2 + 3 + 4 + 1} \Rightarrow \boxed{i_1 = 8\ A}$

• Entre os terminais da associação de R_2 e R_3, temos:

$U = 3i_1 = 3 \cdot 8 \Rightarrow U = 24\ V$

• Em R_2: $U = R_2\, i_2 \Rightarrow 24 = 4i_2 \Rightarrow \boxed{i_2 = 6\ A}$

• Em R_3: $U = R_3\, i_3 \Rightarrow 24 = 12i_3 \Rightarrow \boxed{i_3 = 2\ A}$

Resposta: 8 A, 6 A e 2 A, respectivamente

16.

- $i_1 = 1{,}00$ mA: $\varepsilon = R_{eq1}\, i_1 = 1\,500 \cdot 1{,}00 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \varepsilon = 1{,}50$ V
- $i_2 = 0{,}20$ mA: $\varepsilon = R_{eq2}\, i_2 = (1\,500 + R)\, i_2$

$1{,}50 = (1\,500 + R) \cdot 0{,}20 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{R = 6\,000\ \Omega}$

Resposta: 6 000 Ω

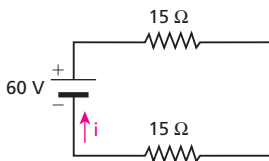
17.

- $Pot_d = r\, i^2 \Rightarrow 15{,}0 = 0{,}15\, i^2 \Rightarrow i = 10$ A
- 2R, R e 2R em paralelo $\Rightarrow \frac{R}{2}$
- $i = \dfrac{\varepsilon}{r + R + \frac{R}{2} + R} \Rightarrow 10 = \dfrac{6{,}0}{0{,}15 + \frac{5R}{2}}$

$\boxed{R = 0{,}18\ \Omega}$

Resposta: 0,18 Ω

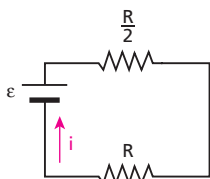
19.

- 20 Ω em série com 10 Ω ⇒ 30 Ω
- 30 Ω em paralelo com 30 Ω ⇒ 15 Ω

$i = \dfrac{\varepsilon}{R_{eq}} = \dfrac{60}{30} \Rightarrow i = 2$ A

$I = \dfrac{i}{2} \Rightarrow \boxed{i_{30\,\Omega} = 1\ \text{A}}$

Resposta: 1 A

21.

Sendo **R** a resistência elétrica de cada lâmpada:

$\varepsilon = \dfrac{3R}{2} \cdot i \Rightarrow i = \dfrac{2\varepsilon}{3R}$ (**C**)

$\dfrac{i}{2} = \dfrac{\varepsilon}{3R}$ (**A** e **B**)

a) Apaga.

b) $\varepsilon = 2R \cdot i' \Rightarrow i' = \dfrac{\varepsilon}{2R}$ (**A** e **C**)

O brilho de **A** aumenta.

Respostas: a) A lâmpada **A** apaga; b) O brilho de **A** aumenta.

22.

01. Incorreta: L_1 brilha mais do que L_2, mas L_2 e L_3 têm o mesmo brilho porque estão em série $\left(i_{L_2} = i_{L_3}\right)$.
02. Correta.
04. Correta: L_1 e L_6 estão em série.
08. Correta: como L_5 é curto-circuitada, as intensidades das correntes no circuito se alteram.

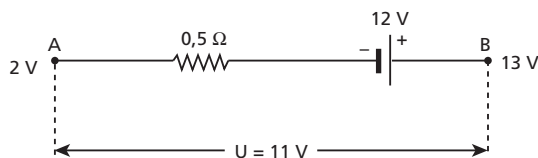
Resposta: 14

23.

- $R_{cabo} \cong 0$
- $i_{cc} = \dfrac{\varepsilon}{r} \Rightarrow 100 = \dfrac{12}{r} \Rightarrow \boxed{r = 0{,}12\ \Omega}$

Resposta: 0,12 Ω

24.

Como a tensão **U** entre os terminais do elemento é menor que 12 V, concluímos que esse elemento é, com certeza, um gerador.

Assim:

$U = \varepsilon - r\, i \Rightarrow 11 = 12 - 0{,}5i$

$\boxed{i = 2\ \text{A}}$ (de **A** para **B**)

Resposta: 2 A, de **A** para **B**

25.

Respostas:

a) Diminui porque aumenta a perda (r i) nos fios.

b) Consegue-se transmitir a mesma potência (U i) com correntes mais baixas, reduzindo-se assim a potência dissipada nos fios ($r\, i^2$).

26.

- $U_1 = 750$ kV $\Rightarrow Pot_d$

  $Pot_u = U_1\, i_1 = 750 i_1$

  $U_2 = 30$ kV $\Rightarrow Pot_d'$

  $Pot_u = U_2\, i_2 = 30 i_2$
- $30 i_2 = 750 i_1 \Rightarrow i_2 = 25 i_1$
- $Pot_d' = R\, i_2^2 = R\,(25 i_1)^2 = 625\, R\, i_1^2$

$\boxed{Pot_d' = 625 Pot_d}$

Resposta: b

27.

Observando as curvas características, obtemos a corrente e a tensão comuns ao gerador e ao resistor.

$i = 5$ A e $U = 10$ V

a) $R = \dfrac{U}{i} \Rightarrow R = \dfrac{10}{5} \Rightarrow \boxed{R = 2\ \Omega}$

$\boxed{\varepsilon = 20\ \text{V}}$

$i_{cc} = \dfrac{\varepsilon}{r} \Rightarrow 10 = \dfrac{20}{r} \Rightarrow \boxed{r = 2\ \Omega}$

b) $Pot = U\, i \Rightarrow Pot = 10 \cdot 5 \Rightarrow \boxed{Pot = 50\ \text{W}}$

c) $\eta = \dfrac{U}{\varepsilon} \Rightarrow \eta = \dfrac{10}{20} \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}5 = 50\%}$

Respostas: a) 20 V; 2 Ω; 2 Ω; b) 50 W; c) 50%

28.

O intervalo de tempo é mínimo, quando o gerador transfere máxima potência ao resistor. Para isto, a resistência desse resistor deve ser igual à resistência interna **r** do gerador, ou seja, 3 Ω.

$$Pot_{máx} = \frac{\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^2}{r} = \frac{E}{\Delta t_{mín}} \Rightarrow \Delta t_{mín} = \frac{4\,E\,r}{\varepsilon^2}$$

$$\Delta t_{mín} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3}{50^2}$$

$$\boxed{\Delta t_{mín} = 960\ s = 16\ min}$$

Resposta: 16 minutos

29.

- $\frac{V_0}{V_A} = 1{,}2 \Rightarrow V_A = \frac{\varepsilon}{1{,}2}$
- $V_A = 4i \Rightarrow i = \frac{V_A}{4} = \frac{\varepsilon}{4{,}8}$
- $i = \frac{\varepsilon}{R_0 + 4} = \frac{\varepsilon}{4{,}8} \Rightarrow \boxed{R_0 = 0{,}8\ \Omega}$

Resposta: a

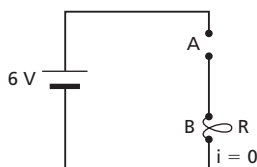
30.

a) O gerador recebe a energia potencial gravitacional E_p perdida pelo corpo:
$E_p = m\,g\,h = 1{,}0 \cdot 10 \cdot 10 \Rightarrow E_p = 100\ J$
Como o rendimento é 50%, só metade desses 100 J são convertidos em energia elétrica. Assim, a energia elétrica gerada é de 50 J.

b) $Q = m\,c\,\Delta\theta$
$50 = 1{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 5{,}0 \cdot 10^3\,\Delta\theta$
$\Delta\theta = 1{,}0\ °C$

Respostas: a) 50 J; b) 1,0 °C

31.

Lâmpadas apagadas: $i = 0$

$U_A = 6 - R\,i = 6 - R \cdot 0 \Rightarrow \boxed{U_A = 6\ V}$

$U_B = R\,i = R \cdot 0 \Rightarrow \boxed{U_B = 0}$

Note que, se a lâmpada **B** também estivesse queimada, teríamos $U_A = U_B = 0$.

Resposta: A lâmpada **A**.

32.

Temos: $\varepsilon = \Sigma R \cdot i \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{\Sigma R}$

A tensão U_i é dada por: $U_i = R_i\,i \Rightarrow \boxed{U_i = \frac{R_i}{\Sigma R}\varepsilon}$

Resposta: Demonstração.

33.

À medida que R_3 aumenta de 0 a **R**, a resistência equivalente à associação de R_2 com R_3 (em paralelo) aumenta de 0 $\left(\frac{R \cdot 0}{R + 0} = 0\right)$ a $\frac{R}{2}$ $\left(\frac{R\,R}{R + R} = \frac{R}{2}\right)$. Com isso, a intensidade de corrente em R_1 diminui, o mesmo ocorrendo com a potência dissipada nesse resistor (Pot_1).

Para confirmar que nenhuma alternativa, além de **a**, está correta, podemos verificar, por exemplo, o que acontece com as outras potências dissipadas, para $R_3 = 0$:
$Pot_3 = 0\ i^2 = 0$
$Pot_2 = 0$ (R_2 está em curto-circuito)
$Pot_2 - Pot_3 = 0$
$Pot_2 + Pot_3 = 0$

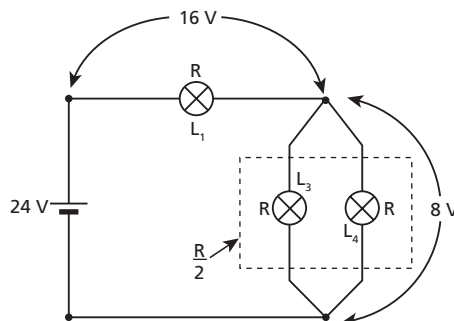
Resposta: a

34.

Sendo **R** a resistência elétrica de cada lâmpada, temos:

- No circuito da esquerda:
$i_1 = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{R}{2}} = \frac{2\varepsilon}{3R} \Rightarrow i_2 = \frac{i_1}{2} \Rightarrow i_2 = \frac{\varepsilon}{3R}$
- No outro circuito: $i_5 = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{\varepsilon}{3R}$
- $\boxed{i_2 = i_5 \Rightarrow \text{Brilhos iguais}}$

Resposta: São iguais.

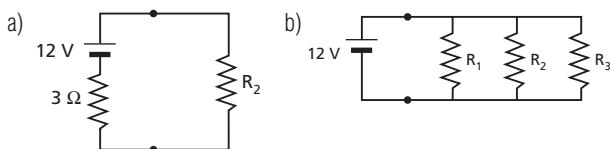
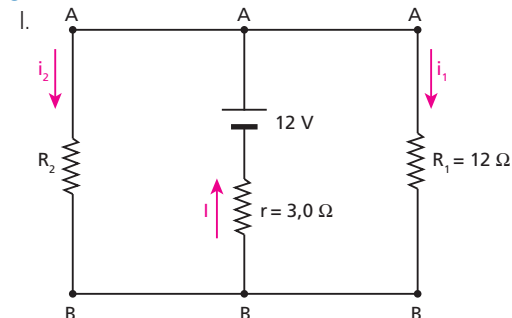
35.

Note que o fechamento de C_3 e C_4 implica uma tensão de 16 V na lâmpada L_1.

Resposta: b

36.

a) Para haver máxima transferência de potência ao aquecedor, é preciso que sua resistência seja igual à resistência interna do gerador (3 Ω).

b) Neste caso, o aquecedor deve ter a mínima resistência possível para que a corrente seja máxima. Isso é conseguido ligando todos os resistores disponíveis em paralelo.

Respostas:

37.

No gerador: $U_{AB} = \varepsilon - r\,I = 12 - 3{,}0 \cdot 1{,}0 \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 9\ V}$

Em R_1: $U_{AB} = R_1\,i_1 \Rightarrow 9 = 12i_1 \Rightarrow \boxed{i_1 = 0{,}75\ A}$

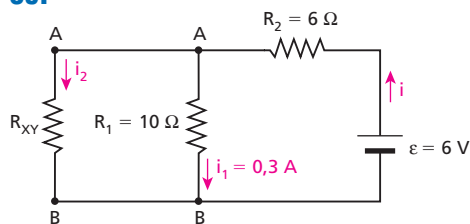
Em R_2: $I = i_1 + i_2 \Rightarrow 1{,}0 = 0{,}75 + i_2 \Rightarrow \boxed{i_2 = 0{,}25\ A}$

$U_{AB} = R_2\, i_2 \Rightarrow 9 = R_2\, 0{,}25 \Rightarrow \boxed{R_2 = 36\ \Omega}$

II. R_1 e R_2 constituem o circuito externo ao gerador. Para que a potência fornecida pelo gerador seja máxima, a resistência equivalente a R_1 e R_2, que estão em paralelo, tem de ser igual a **r**:

$$\frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2} = r \Rightarrow \frac{12R_2}{12 + R_2} = 3{,}0 \Rightarrow \boxed{R_2 = 4\ \Omega}$$

Resposta: I. 36 Ω; II. 4 Ω

39.

- $U_{AB} = R_1\, i_1 = 10 \cdot 0{,}3 \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 3\ V}$
- $U_{AB} = \varepsilon - R_2\, i \Rightarrow 3 = 6 - 6i \Rightarrow \boxed{i = 0{,}5\ A}$

  Portanto: $\boxed{i_2 = 0{,}2\ A}$
- $U_{AB} = R_{XY}\, i_2 \Rightarrow 3 = R_{XY} \cdot 0{,}2 \Rightarrow \boxed{R_{XY} = 15\ \Omega}$

Resposta: 15 Ω

40.

a) Quando a lâmina se curva para a direita, a parte de metal **A** torna-se mais longa que a de metal **B**, ou seja, a parte de metal **A** dilata mais que a outra: $\Delta L_A > \Delta L_B$.

Como $\Delta L = \alpha\, L_0\, \Delta\theta$,

$L_{0_A} = L_{0_B}$ e $\Delta\theta_A = \Delta\theta_B$: $\Delta L_A > \Delta L_B \Rightarrow \boxed{\alpha_A > \alpha_B}$

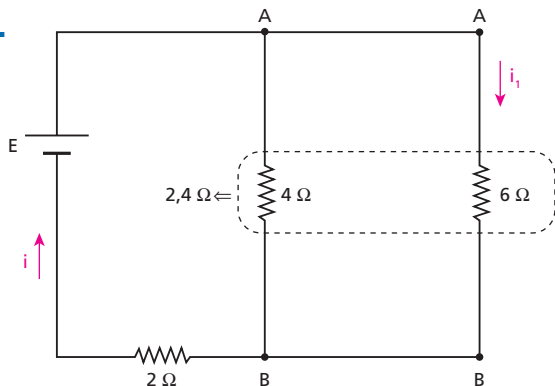
b) Como "as demais resistências **do circuito** são muito pequenas comparadas com r":

$$i = \frac{\varepsilon}{r} \qquad i_3 = \frac{\varepsilon}{3r} \Rightarrow \frac{i_3}{i_1} = \frac{1}{3}$$

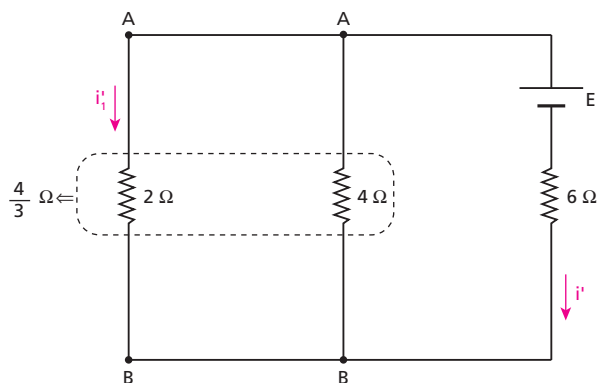
$$\frac{Pot_3}{Pot_1} = \frac{R\, i_3^2}{R\, i_1^2} = \left(\frac{i_3}{i_1}\right)^2 = \left(\frac{1}{3}\right)^2 \Rightarrow \boxed{Pot_3 = \frac{Pot_1}{9}}$$

Respostas: a) Quando a lâmina se curva para a direita, a parte de metal **A** torna-se mais longa que a de metal **B**, ou seja, a parte de metal **A** dilata-se mais que a outra.

b) A potência dissipada em **R**, com o cursor na posição 3, é $\frac{1}{9}$ da dissipada com o cursor na posição 1.

41.

$$E = 4{,}4i \Rightarrow i = \frac{E}{4{,}4}$$

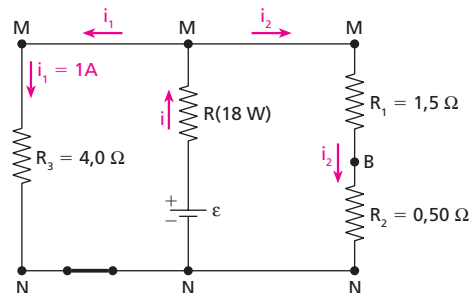
$$U_{AB} = R_{AB}\, i = 2{,}4\ \frac{E}{4{,}4} = \frac{6E}{11}$$

$$i_1 = \frac{U_{AB}}{6} = \frac{\frac{6E}{11}}{6} = \frac{E}{11} = I$$

$$E = \left(6 + \frac{4}{3}\right) i' = \frac{3E}{22}$$

$$U_{AB} = R_{AB}\ i' = \frac{4}{3} \cdot \frac{3E}{22} = \frac{2E}{11}$$

$$i'_1 = \frac{U_{AB}}{2} = \frac{\frac{2E}{11}}{2} = \frac{E}{11} = I \Rightarrow \boxed{i'_1 = I}$$

Resposta: c

42.

a) **Em R3:** $U_{MN} = R_3\, i_1 = 4{,}0 \cdot 1$

$U_{MN} = 4\ V$

Na associação de R_1 com R_2:

$U_{MN} = (R_1 + R_2)\, i_2$

$4 = 2{,}0 i_2 \Rightarrow i_2 = 2\ A$

No voltímetro:

$U_{BN} = R_2\, i_2 = 0{,}50 \cdot 2$

$\boxed{U_{BN} = 1\ V}$

b) $i = i_1 + i_2 = 1 + 2 \Rightarrow i = 3\ A$

Em R: $Pot = R\, i^2$

$18 = R \cdot 3^2 \Rightarrow \boxed{R = 2\ \Omega}$

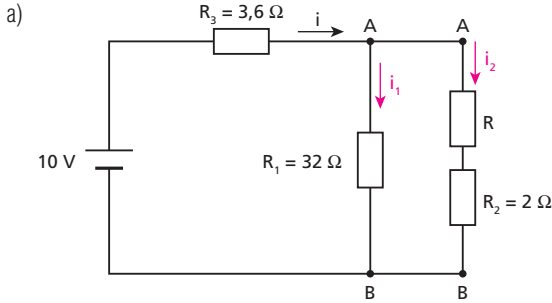
c) $U_{MN} = \varepsilon - R\, i$

$4 = \varepsilon - 2 \cdot 3$

$\boxed{\varepsilon = 10\ V}$

Respostas: a) 1 V; b) 2 Ω; c) 10 V

43.

a)

$Pot_1 = Pot_2 \Rightarrow R_1\, i_1^2 = R_2\, i_2^2$

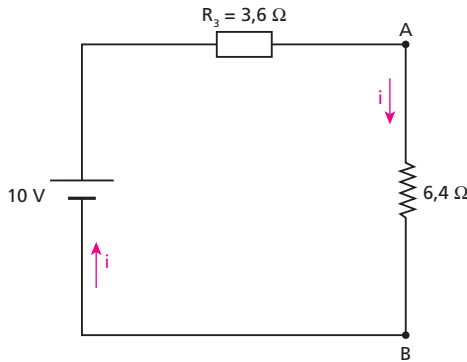
$32i_1^2 = 2i_2^2 \Rightarrow i_2 = 4i_1$

$U_{AB} = R_1\, i_1 = (R + R_2)\, i_2$

$32i_1 = (R + 2)\, 4i_1$

$\boxed{R = 6\ \Omega}$

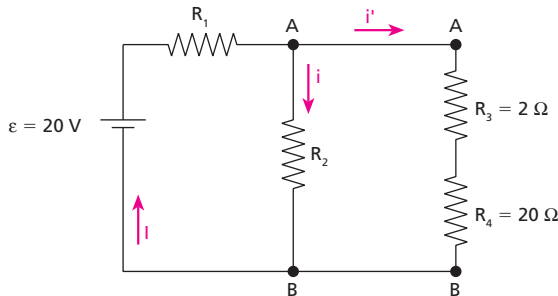
b) **R** em série com $R_2 \Rightarrow 8\ \Omega$

R_1 em paralelo com $8\ \Omega \Rightarrow 6{,}4\ \Omega$

$\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 10 = 10\, i \Rightarrow i = 1\ A$

$U_{AB} = 6{,}4\, i = 6{,}4 \cdot 1 \Rightarrow U_{AB} = 6{,}4\ V$

Na primeira figura: $Pot_1 = \dfrac{U_{AB}^2}{R_1} = \dfrac{6{,}4^2}{32} \Rightarrow \boxed{Pot_1 = 1{,}28\ W}$

Respostas: a) 6 Ω; b) 1,28 W

44.

a) $Pot_2 = Pot_{3,4} \Rightarrow \dfrac{U_{AB}^2}{R_2} = \dfrac{U_{AB}^2}{22} \Rightarrow \boxed{R_2 = 22\ \Omega}$

b) $Pot_1 = 9\ W$

$U_1 < U_2$

$I = ?$

$$\left.\begin{array}{l} \varepsilon = (R_1 + R_{AB}) \cdot I \\ R_1\, I^2 = Pot_1 \end{array}\right\} \left.\begin{array}{l} 20 = (R_1 + 11) \cdot I \\ R_1\, I^2 = 9 \end{array}\right\} \Rightarrow 20 = \left(\frac{9}{I^2} + 11\right) \cdot I$$

$\Rightarrow 11 \cdot I^2 - 20 \cdot I + 9 = 0$

$$I = \frac{20 \pm 2}{22} \begin{cases} I = 1\ A \Rightarrow U_2 = 11 \cdot 1 = 11\ V \Rightarrow U_1 < U_2 \\ I = \dfrac{9}{11}\ A \Rightarrow U_2 = 11 \cdot \dfrac{9}{11} = 9\ V \Rightarrow U_1 > U_2 \end{cases}$$

Portanto: $\boxed{I = 1\ A}$

Respostas: a) 22 Ω; b) 1 A

45.

a) No chuveiro:

$U = R\, i$

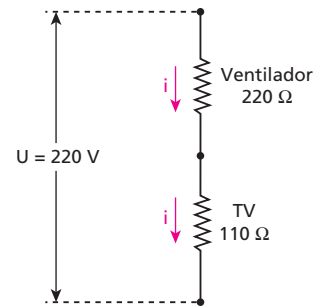
$220 = 11i \Rightarrow i = 20\ A$

b) $Pot_{total} = 335\ W + 100\ W + 55\ W + 110\ W + 4400\ W = 5000\ W = 5\ kW$

$\Delta t = 15\ min = \dfrac{1}{4}\ h$

Sendo **E** a energia elétrica consumida, temos:

$E = Pot\, \Delta t = 5\ kW\ \dfrac{1}{4}\ h \Rightarrow E = 1{,}25\ kWh$

c) Com o rompimento do fio neutro no ponto **A**, o chuveiro, a geladeira e a lâmpada não são afetados, pois continuam submetidos a 220 V, 110 V e 110 V, respectivamente. O ventilador e a TV, porém, passam a constituir uma associação de aparelhos em série, sendo de 220 V a ddp entre os terminais da associação:

$U = R_{eq}\, i$

$220 = (220 + 110)\, i \Rightarrow \boxed{i = \dfrac{2}{3}\ A}$

Calculemos as novas potências com que o ventilador e a TV vão operar logo após o rompimento do fio neutro:

$Pot_V = R_V\, i^2 = 220 \left(\dfrac{4}{9}\right) \Rightarrow \boxed{Pot_V \cong 98\ W}$

(mais que 10% acima de 55 W)

$Pot_{TV} = R_{TV}\, i^2 = 110 \left(\dfrac{4}{9}\right) \Rightarrow \boxed{Pot_{TV} \cong 49\ W}$

(abaixo da potência nominal)

Portanto, só o ventilador será queimado. Evidentemente, ocorrendo isso, a TV (não queimada) deixará de funcionar.

Respostas: a) 20 A; b) 1,25 kWh; c) Só o ventilador

46.

a) $Pot_1 = R_L\, i^2 \Rightarrow 8{,}0 = 2{,}0 \cdot i^2 \Rightarrow \boxed{i = 2{,}0\ A}$

Como os fios e a lâmpada estão todos em série, a intensidade da corrente elétrica é a mesma na lâmpada e nos fios.

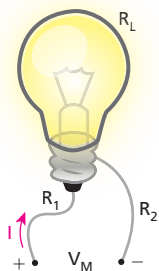
b) $R_1 = 1{,}8\ \Omega = \dfrac{\rho\, \ell}{A}$

$R_2 = \dfrac{\rho\, \ell}{9A} = \dfrac{1{,}8\Omega}{9} \Rightarrow R_2 = 0{,}2\ \Omega$

$P_2 = R_2\, i^2 = 0{,}2 \cdot 2{,}0^2 \Rightarrow \boxed{P_2 = 0{,}80\ W}$

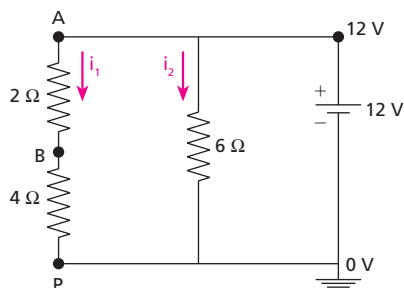
c) $V_M = (R_1 + R_L + R_2)\ i$

$V_M = (1,8 + 2,0 + 0,2)$

$\boxed{V_M = 8,0\ V}$

Esse resultado revela que a resistência interna da bateria não é desprezível.

Respostas: a) 2,0 A; b) 0,80 W; c) 8,0 V

48.

a) Podemos redesenhar o circuito como na figura:

No ramo AP, temos:

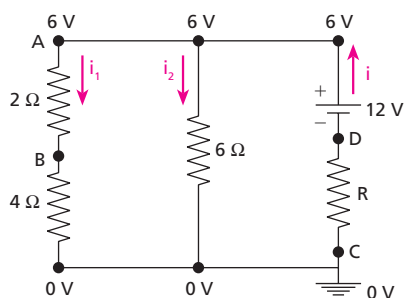
$$i_1 = \frac{U_{AP}}{R_{AP}} = \frac{12}{6} \Rightarrow i_1 = 2\ A$$

No trecho AB, temos:

$U_{AB} = R_{AB}\ i_1 = 2 \cdot 2 \Rightarrow U_{AB} = 4\ V$

Então, temos:

$\boxed{\nu_A = 12\ V}$ e $\boxed{\nu_B = 8\ V}$

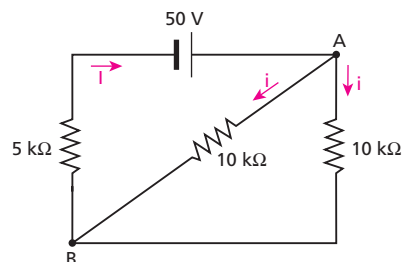
b)

$$i_1 = \frac{6}{6} \Rightarrow i_1 = 1\ A$$

$$i_2 = \frac{6}{6} \Rightarrow i_2 = 1\ A$$

No gerador: $U = \varepsilon - Ri$

$6 = 12 - R \cdot 2 \Rightarrow \boxed{R = 3\ \Omega}$

Respostas: a) 12 V e 8 V, respectivamente; b) 3 Ω

50.

$\varepsilon = R_{eq}\ I \Rightarrow 50\ V = 10\ k\Omega \cdot I \Rightarrow I = 5\ mA$

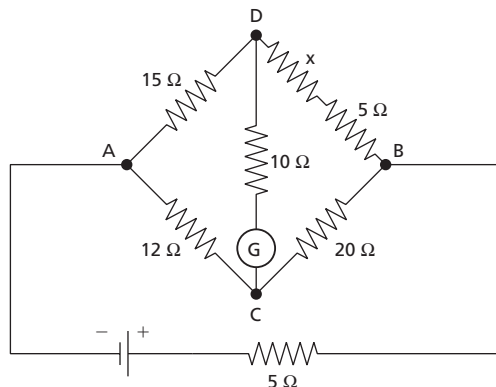
$\boxed{i = 2,5\ mA}$

$U_{AB} = 10\ k\Omega \cdot 2,5\ mA \Rightarrow \boxed{U_{AB} = 25\ V}$

Resposta: 2,5 mA e 25 V

51.

O circuito fornecido é uma típica ponte de Wheatstone em equilíbrio (a corrente elétrica no galvanômetro é nula).

Assim, podemos redesenhar esse curcuito na forma convencional.

Uma vez que a ponte encontra-se em equilíbrio, vale a igualdade entre os produtos das resistências opostas:

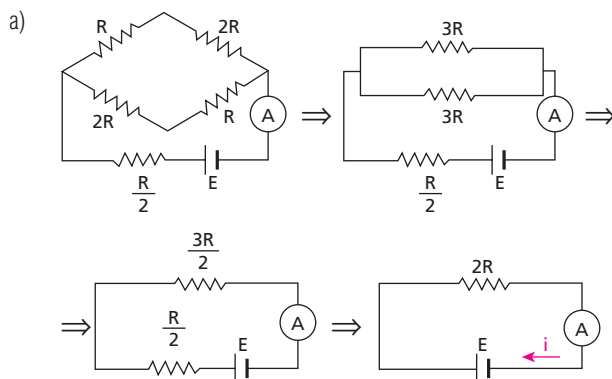
$12\ (x + 5) = 15 \cdot 20$

$x + 5 = 25 \Rightarrow \boxed{x = 20\ \Omega}$

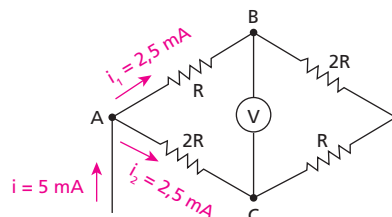
Resposta: 20 Ω

52.

Consideremos ideais o voltímetro, o amperímetro e o gerador.

a)

$E = 2\,R\,i \Rightarrow 10 = 2\,000\ i$

$i = 5 \cdot 10^{-3}\ A = 5\ mA$

b)

Usando a Primeira Lei de Ohm, podemos escrever que:

$U_{AB} = \nu_A - \nu_B = R\ i_1$ (I)

$U_{AC} = \nu_A - \nu_C = 2R\ i_2$ (II)

Como $i_1 = i_2 = I = 2{,}5$ mA, subtraindo (I) de (II), vem:

$(\nu_A - \nu_C) - (\nu_A - \nu_B) = 2R\,i_2 - R\,i_1$

$\nu_B - \nu_C = R\,I$

$\nu_B - \nu_C = 1000 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}$

$\nu_B - \nu_C = 2{,}5$ V

Respostas: a) 5 mA; b) 2,5 V

54.

Temos:

$$\left.\begin{matrix}\varepsilon_1 = R_{AB}\, i \\ \varepsilon_2 = R_{AC}\, i\end{matrix}\right\} \Rightarrow \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{R_{AB}}{R_{AC}} \Rightarrow \frac{6}{\varepsilon_2} = \frac{100}{75} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_2 = 4{,}5\ \text{V}}$$

Resposta: 4,5 V

55.

a) No gerador: $i = i_R + i_R = 2{,}0 + 2{,}0 \Rightarrow i = 4{,}0$ A

$U_{PQ} = \varepsilon - r\,i = 12 - 0{,}50 \cdot 4{,}0$

$\boxed{U_{PQ} = 10\ \text{V}}$

b) $U_{PQ} = R\,i_R \Rightarrow 10 = R \cdot 2{,}0 \Rightarrow \boxed{R = 5{,}0\ \Omega}$

c) $Ed = U \Rightarrow E\,L = U_{PQ} \Rightarrow E \cdot 5{,}0 \cdot 10^{-2} = 10$

$\boxed{E = 2{,}0 \cdot 10^2\ \text{N/C}}$

Respostas: a) 10 V; b) 5,0 Ω; c) $2{,}0 \cdot 10^2$ N/C

56.

- $i_{cc} = \dfrac{\varepsilon}{r} \Rightarrow 20 = \dfrac{1{,}5}{r} \Rightarrow r = 0{,}075\ \Omega$

$$R_{fios} = \frac{\rho\,\ell}{A} = \frac{\rho\,\ell}{\pi R^2} = \frac{\rho\,\ell}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{4 \cdot (1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega\,\text{m}) \cdot (4{,}0\ \text{m})}{3{,}1 \cdot (1{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{m})^2}$$

$R_{fios} = 0{,}039\ \Omega$

- A partir dos valores nominais da lâmpada (3,0 W-1,0 V):

$$Pot_L = \frac{U_L^{\,2}}{R_L} = \Rightarrow 3{,}0 = \frac{1{,}0^2}{R_L} \Rightarrow R_L = 0{,}333\ \Omega$$

- $i = \dfrac{\varepsilon}{r + R_{fios} + R_L} = \dfrac{1{,}5}{0{,}447} \Rightarrow i = 3{,}36$ A

- $Pot_{L_{real}} = R_L\, i^2 = 0{,}333 \cdot 3{,}36^2 \Rightarrow \boxed{Pot_{L_{real}} \cong 3{,}7\ \text{W}}$

Resposta: a

Página 189

58.

a) $\boxed{\varepsilon' = 30\ \text{V}}$ e $\boxed{r' = 6\ \Omega}$

b) $U = 30 + 6\,i = 30 + 6 \cdot 5 \Rightarrow U = 60$ V

$\eta = \dfrac{\varepsilon'}{U} = \dfrac{30}{60} \Rightarrow \boxed{\eta = 50\%}$

Respostas: a) 30 V e 6 Ω; b) 50%

59.

Como a ddp entre **A** e **B** é maior que 12 V, concluímos que o elemento é um receptor:

$U = \varepsilon' + r'\,i$

$20 = 12 + 4i \Rightarrow i = 2$ A, de **A** para **B**

Resposta: 2 A; de **A** para **B**

60.

a) • $R_1 = \dfrac{U}{i} = \dfrac{20}{10} \Rightarrow \boxed{R_1 = 2\ \Omega}$

• $i_{cc} = \dfrac{\varepsilon}{R_2} \Rightarrow 20 = \dfrac{40}{R_2} \Rightarrow \boxed{R_2 = 2\ \Omega}$

• $\varepsilon' = 10$ V

$U = \varepsilon' + R_3\,i \Rightarrow 20 = 10 + R_3 \cdot 10 \Rightarrow \boxed{R_3 = 1\ \Omega}$

b) $\eta_G = \dfrac{U}{\varepsilon} = \dfrac{\varepsilon - R_2\,i}{\varepsilon} = \dfrac{40 - 2 \cdot 5}{40} \Rightarrow \boxed{\eta_G = 75\%}$

$\eta_R = \dfrac{\varepsilon'}{U} = \dfrac{\varepsilon'}{\varepsilon' + R_3\,i} = \dfrac{10}{10 + 1 \cdot 5} \Rightarrow \boxed{\eta_R = 67\%}$

Respostas: a) $R_1 = 2\ \Omega$; $R_2 = 2\ \Omega$; $R_3 = 1\ \Omega$; b) 75% e 67%, respectivamente.

61.

- Bateria operando como gerador:
  $U = \varepsilon - r\,i \Rightarrow 8{,}5 = \varepsilon - r \cdot 3$ (I)
- Bateria operando como receptor:
  $U = \varepsilon' + r'\,i \Rightarrow 11 = \varepsilon + r \cdot 2$ (II)
- De (I) e (II), vem:
  $\boxed{r = 0{,}5\ \Omega}$ e $\boxed{\varepsilon = 10\ \text{V}}$

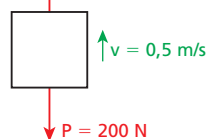
Respostas: 0,5 Ω; 10 V

62.

a)

F = 200 N

v = 0,5 m/s

P = 200 N

$Pot_u = F\,v = 200 \cdot 0{,}5 \Rightarrow \boxed{Pot_u = 100\ \text{W}}$

b) $\eta = \dfrac{Pot_u}{Pot_t} \Rightarrow 0{,}8 = \dfrac{100}{Pot_t} \Rightarrow \boxed{Pot_t = 125\ \text{W}}$

c) $Pot_t = U\,i \Rightarrow 125 = 25 \cdot i \Rightarrow \boxed{i = 5\ \text{A}}$

Respostas: a) 100 W; b) 125 W; c) 5 A

63.

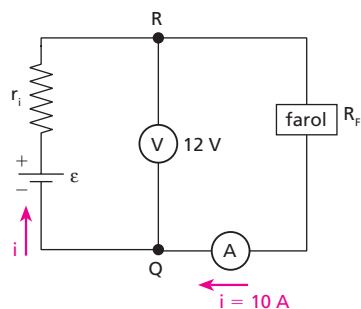
No gerador:

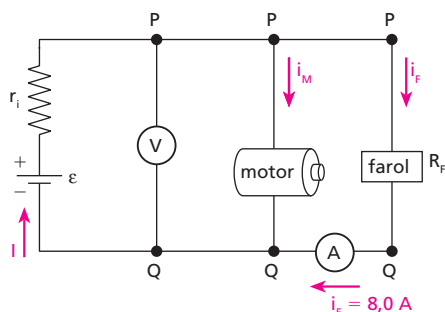
$\eta = \dfrac{Pot_u}{Pot_t} \Rightarrow 0{,}90 = \dfrac{Pot_u}{20} \Rightarrow Pot_u = 18$ kW

No motor:

$\eta = \dfrac{Pot_u}{Pot_t} \Rightarrow 0{,}80 = \dfrac{Pot_u}{18} \Rightarrow \boxed{Pot_u = 14{,}4\ \text{kW}}$

Resposta: 14,4 kW

64.

Supondo o voltímetro ideal, temos:

- $U_{PQ} = R_F\, i \Rightarrow 12 = R_F \cdot 10 \Rightarrow R_F = 1{,}2\ \Omega$
- $U_{PQ} = \varepsilon - r_i\, i \Rightarrow 12 = \varepsilon - 0{,}050 \cdot 10 \Rightarrow \varepsilon = 12{,}5$ V

- $U_{PQ} = R_F\, i_F = 1{,}2 \cdot 8{,}0 \Rightarrow U_{PQ} = 9{,}6$ V
- $U_{PQ} = \varepsilon - r_i\, I \Rightarrow 9{,}6 = 12{,}5 - 0{,}050\, I \Rightarrow I = 58$ A
- $I = i_M + i_F \Rightarrow 58 = i_M + 8{,}0 \Rightarrow \boxed{i_M = 50\text{ A}}$

Resposta: 50 A

Página 192

66.

a) $\varepsilon_{eq} = n\,\varepsilon = 3 \cdot 1{,}5 \Rightarrow \boxed{\varepsilon_{eq} = 4{,}5\text{ V}}$

$r_{eq} = n\,r = 3 \cdot 0{,}3 \Rightarrow \boxed{r_{eq} = 0{,}9\ \Omega}$

b) $\varepsilon_{eq} = \varepsilon \Rightarrow \boxed{\varepsilon_{eq} = 1{,}5\text{ V}}$

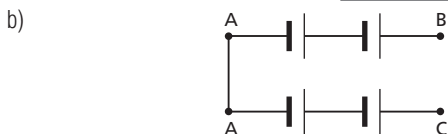
$r_{eq} = \dfrac{r}{n} = \dfrac{0{,}3}{3} \Rightarrow \boxed{r_{eq} = 0{,}1\ \Omega}$

Respostas: a) 4,5 V e 0,9 Ω; b) 1,5 V e 0,1 Ω

67.

a) Todas as pilhas em paralelo $\Rightarrow \boxed{U = 1{,}5\text{ V}}$

b)

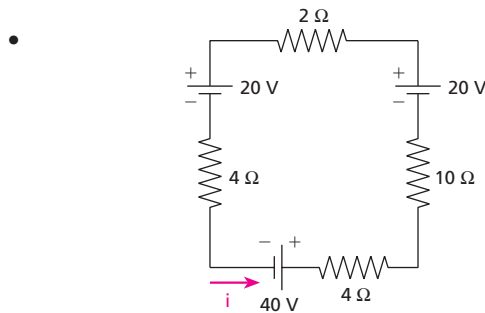
$\nu_B - \nu_A = 3$ V

$\nu_C - \nu_A = 3\text{ V} \Rightarrow \nu_B = \nu_C \Rightarrow \boxed{U = 0}$

c) Duas pilhas em série (3 V) associadas em paralelo a outras duas em série (3 V) $\Rightarrow \boxed{U = 3\text{ V}}$

d) Todas as pilhas em série $\Rightarrow \boxed{U = 6\text{ V}}$

Respostas: a) 1,5 V; b) Zero; c) 3 V; d) 6 V

69.

- Duas baterias iguais em paralelo $\Rightarrow E_{eq} = 20$ V e $r_{eq} = 4\ \Omega$
-

$\Sigma_{fem} = 40\text{ V} + 20\text{ V} = 60$ V

$\Sigma_{fcem} = 20$ V

$\Sigma_{fem} = \Sigma_{fcem} + R_{eq}\, i$

$60 = 20 + 20i \Rightarrow \boxed{i = 2\text{ A}}$

Resposta: 2 A

70.

O gerador é o elemento que apresenta a **maior** diferença de potencial entre os terminais. Portanto, o gerador é o elemento **C**. O receptor tem ε' = 12 V e como U = ε' + r' i, **U** tem de ser **maior** que 12 V entre os terminais desse elemento. Então, **A** é o receptor, e **B** é o resistor.

Resposta: A – receptor; **B** – resistor; **C** – gerador.

71.

- Em cada linha: $\varepsilon_{eq} = 5\,000 \cdot 0{,}15\text{ V} = 750$ V
  $r_{eq} = 5\,000 \cdot 0{,}25\ \Omega = 1\,250\ \Omega$
- Nas 140 linhas em paralelo:
  $E_{EQ} = E_{eq} = 750$ V
  $r_{EQ} = \dfrac{r_{eq}}{n} = \dfrac{1\,250\ \Omega}{140} = 8{,}9\ \Omega$
- $i = \dfrac{E_{EQ}}{r_{EQ} + R} = \dfrac{750}{8{,}9 + 800} \Rightarrow \boxed{i = 0{,}93\text{ A}}$

Resposta: c

72.

S_1 e S_2: $i = \dfrac{E_{eq}}{R_{eq}} = \dfrac{18}{3} \Rightarrow \boxed{i_A = i_B = 6\text{ A}}$ e $\boxed{i_C = 0}$

S_1 e S_3: $\varepsilon = \varepsilon' + R_{eq}\, i \Rightarrow 12 = 4 + 5i \Rightarrow \boxed{i_A = i_C = 1{,}6\text{ A}}$ e $\boxed{i_B = 0}$

S_2 e S_3: $i = \dfrac{E_{eq}}{R_{eq}} = \dfrac{10}{4} \Rightarrow \boxed{i_B = i_C = 2{,}5\text{ A}}$ e $\boxed{i_A = 0}$

Resposta:

S_1 e S_2: $i_A = i_B = 6$ A; $i_C = 0$

S_1 e S_3: $i_A = i_C = 1{,}6$ A; $i_B = 0$

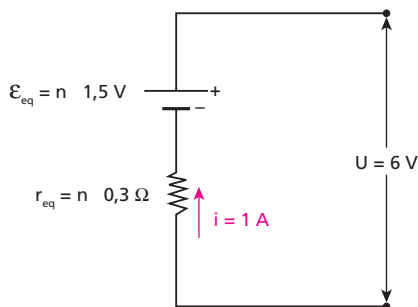
S_2 e S_3: $i_B = i_C = 2{,}5$ A; $i_A = 0$

73.

- $i_{cc} = \dfrac{\varepsilon}{r} \Rightarrow 30 = \dfrac{6}{r} \Rightarrow \boxed{r = 0{,}2\ \Omega}$
- $\boxed{\varepsilon_{eq} = \varepsilon = 6\text{ V}}$ e $r_{eq} = \dfrac{r}{n} = \dfrac{0{,}2}{4} \Rightarrow \boxed{r_{eq} = 0{,}05\ \Omega}$

Resposta: 6 V e 0,05 Ω

74.

Seja **n** o número de pilhas em série:

$U = \varepsilon_{eq} - r_{eq}\, i$

$6 = n \cdot 1{,}5 - n \cdot 0{,}3 \cdot 1$

$n = 5$

Resposta: 5

75.

$\varepsilon = \varepsilon' + R_{eq}\, i$

$12 = 4 + (0{,}1 + 3{,}9)\, i \quad \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{i = 2\ \text{A}}$

Resposta: 2 A

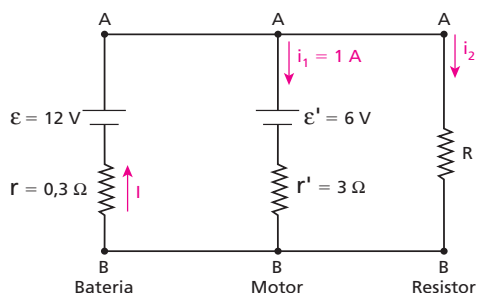
77.

$\varepsilon = \varepsilon' + R_{eq}\, i$

$48 = 12 + (0{,}7 + 0{,}3 + 5)\, i \quad \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{i = 6\ \text{A}}$

Resposta: 6 A

78.

No motor: $U_{AB} = \varepsilon' + r'\, i_1 = 6 + 3 \cdot 1 \quad \Rightarrow \quad U_{AB} = 9\ \text{V}$

Na bateria: $U_{AB} = \varepsilon - r\, I \quad \Rightarrow \quad 9 = 12 - 0{,}3\, I \quad \Rightarrow \quad I = 10\ \text{A}$

No resistor: $i_2 = 9\ \text{A}$

$U_{AB} = R\, i_2 \quad \Rightarrow \quad 9 = R \cdot 9 \quad \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{R = 1\ \Omega}$

Resposta: 1 Ω

79.

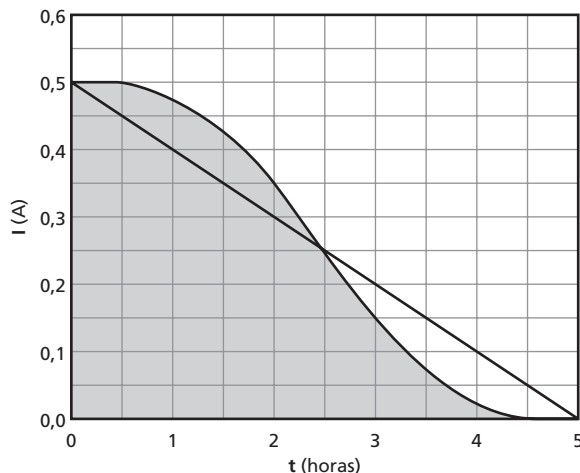
a) A potência total recebida nos 10 m² é igual a 13 000 W. Só 12% desse total é aproveitado para gerar energia elétrica.
Então:

$Pot_{útil} = 0{,}12 \cdot 13\,000\ \text{W} = 1\,560\ \text{W} = 1{,}56\ \text{kW}$

$\Delta t = 5\ \text{h}$

Energia gerada $= Pot_{útil}\, \Delta t = 1{,}56\ \text{kW} \cdot 5\text{h}$

$\boxed{\text{Energia gerada} = 7{,}8\ \text{kWh}}$

b) A carga é dada pela "área" entre o gráfico e o eixo **t**, que pode ser considerada igual à "área" do triângulo da figura:

$$Q = \frac{5\ \text{h} \cdot 0{,}5\ \text{A}}{2} \Rightarrow \boxed{Q = 1{,}25\ \text{Ah}}$$

Respostas: a) 7,8 kWh; b) 1,25 Ah

81.

No circuito I:

- Se $\varepsilon_B < 12$ V: $12 = \varepsilon_B + (R_1 + R_2)\, 1$ (I)
- Se $\varepsilon_B > 12$ V: $\varepsilon_B = 12 + (R_1 + R_2)\, 1$ (I')

No circuito II: $\varepsilon_B + 12 = (R_1 + R_2)\, 3$ (II)

De (I) e (II), obtemos: $\varepsilon_B = 6$ V

De (I') e (II), obtemos: $\varepsilon_B = 24$ V

Resposta: 6 V ou 24 V

83.

a) $\nu_d = \nu_a + \varepsilon_1 - 4i - \varepsilon_2$

$\nu_d = \nu_a + 15 - 4 \cdot 2 - 2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\nu_d - \nu_a = 5\ \text{V}}$

b) $Pot = 4i^2 = 4 \cdot 2^2 \quad \Rightarrow \quad \boxed{Pot = 16\ \text{W}}$

Respostas: a) 5 V; b) 16 W

84. Lembrando que a intensidade da corrente elétrica é nula e considerando $\nu_C = 0$, temos $\nu_B = 9$ V e $\nu_A = 12$ V, pois não há ddp nos elementos puramente resistivos ($r\, i = 0$).
Então, $U_{AB} = \nu_A - \nu_B = 3$ V
Resposta: 3 V

85.

a) $\Sigma\ \text{fem} = \Sigma\ \text{fcem} + R_{eq}\, i$

$24 = 18 + 6i \quad \rightarrow \quad i = 1\ \text{A}$

No receptor, temos:

$U_{QP} = \varepsilon' + r'\, i = 18 + 3 \cdot 1 \quad \Rightarrow$

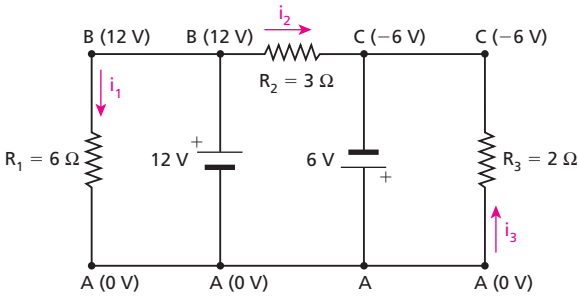
$\Rightarrow \boxed{U_{QP} = 21\ \text{V}}$

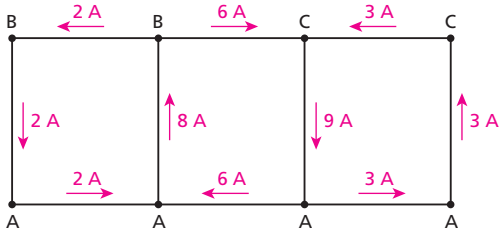
b) Quando a corrente é nula, não ocorre queda de potencial nos resistores. Assim, a ddp entre **Q** e **P** passa a ser a fem do gerador, ou seja, 24 V.

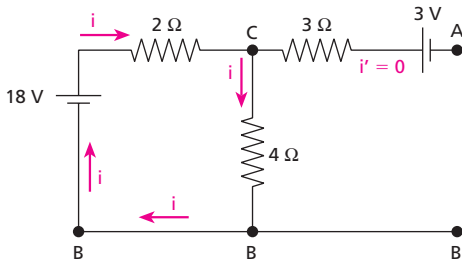
Respostas: a) 21 V; b) 24 V

86. Vamos adotar um potencial de referência (0 V) em algum ponto do circuito. Esse ponto pode ser um ponto qualquer. Adotando, por exemplo, $\nu_A = 0$, temos:

$\nu_B = \nu_A + 12\ V = 12\ V$ (na bateria de 12 V)

$\nu_C = \nu_A - 6\ V = -6\ V$ (na bateria de 6 V)

Usando $i = \frac{U}{R}$, calculamos as intensidades das correntes:

- em R_1: $i_1 = \frac{12 - 0}{6} \Rightarrow$ $i_1 = 2$ A, de **B** para **A**.
- em R_2: $i_2 = \frac{12 - (-6)}{3} \Rightarrow$ $i_2 = 6$ A, de **B** para **C.**
- em R_3: $i_3 = \frac{0 - (-6)}{2} \Rightarrow$ $i_3 = 3$ A, de **A** para **C**.

Resposta: Em R_1: 2 A, de **B** para **A**.
Em R_2: 6 A, de **B** para **C**.
Em R_3: 3 A, de **A** para **C**.

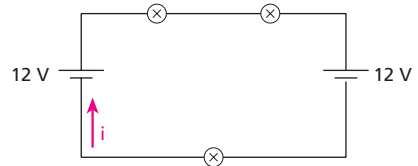
87.

- $i = \frac{18}{2 + 4} \Rightarrow i = 3$ A
- Percorrendo o circuito de **B** até **A**, passando, por exemplo, pelo gerador de 18 V, temos:

$\nu_B + 18 - 2i - 3 = \nu_A$

$\nu_B + 18 - 6 - 3 = \nu_A \Rightarrow$ $\nu_A - \nu_B = 9$ V

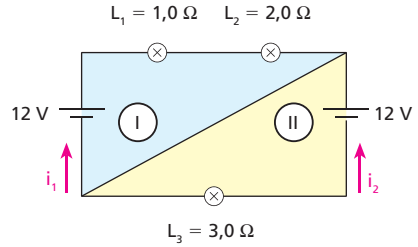
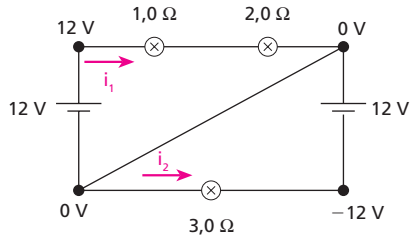
Resposta: e

88.

a)

$\varepsilon = \varepsilon' + R_{eq}\, i$

$12 = 12 + R_{eq}\, i \Rightarrow i = 0$

Portanto, as três lâmpadas estão apagadas.

b)

- No circuito I: $i_1 = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{12}{1,0 + 2,0} \Rightarrow$ $i_1 = 4,0$ A
- No circuito II: $i_2 = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{12}{3,0} \Rightarrow$ $i_2 = 4,0$ A
- Como Pot = R i^2 e **i** é igual em todas as lâmpadas:
  R maior ⇒ Pot maior ⇒ L_3
  Nota: Podemos também adotar um "zero volt" em algum ponto:

Respostas: a) As três lâmpadas estão apagadas; b) L_3

89.

No circuito dado, há dois geradores. Entre **A** e **B** temos:

$U = 12 - 0,5i \Rightarrow 0 = 12 - 0,5i \Rightarrow i = 24$ A

Sendo **R** a resistência do reostato, temos, no circuito todo:

$36 + 12 = (1,8 + R)\, 24 \Rightarrow R = 0,2\ \Omega$

Resposta: 0,2 Ω

90.

No circuito **A**: $i_A = \frac{11}{100 + 10} \Rightarrow$ $i_A = 0,1$ A

No circuito **B**: $i_B = \frac{36 - 12}{9 + 4 + 5 + 6} \Rightarrow$ $i_B = 1$ A

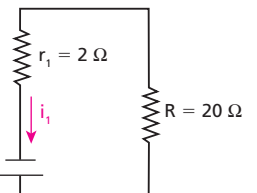
No fio **MN**: $i_{MN} = 0$

Resposta: $i_A = 0,1$ A; $i_B = 1$A; $i_{MN} = 0$

91.

a) $\varepsilon_1 = R_{eq}\, i_1$

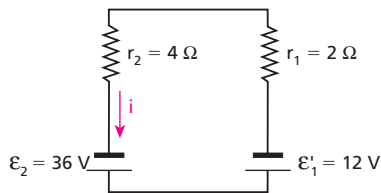
$12 = (2 + 20) \cdot i_1 \Rightarrow$

$\Rightarrow i_1 = \frac{6}{11}$ A $\cong 0,55$ A

b) $i_1 = \dfrac{Q}{\Delta t} \Rightarrow \dfrac{6}{11} = \dfrac{Q}{100}$

$\boxed{Q \cong 55\ C}$ (carga que passou pela bateria B_1 num determinado sentido)

c)

$r_2 = 4\ \Omega$ $r_1 = 2\ \Omega$ i

$\varepsilon_2 = 36\ V$ $\varepsilon'_1 = 12\ V$

$\varepsilon_2 = \varepsilon'_1 + R_{eq}\, i$

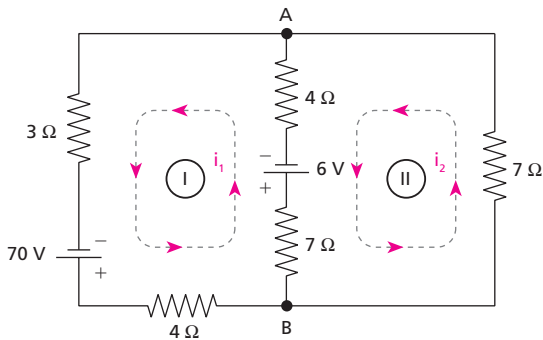
$36 = 12 + (4 + 2)\, i \Rightarrow i = 4\ A$

Deve passar pela bateria B_1, em sentido oposto ao anterior, a mesma quantidade de carga **Q** calculada no item **b**:

$i = \dfrac{Q}{\Delta t} \Rightarrow 4 = \dfrac{55}{\Delta t} \Rightarrow \boxed{\Delta t \cong 14\ s}$

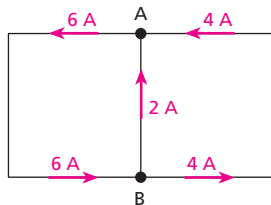
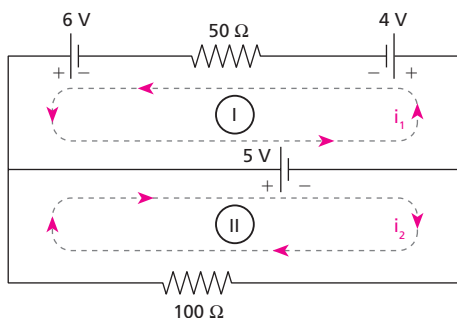
Respostas: a) 0,55 A; b) 55 C; c) 14 s

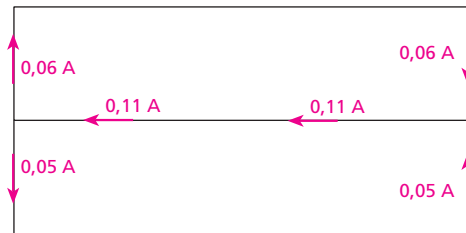
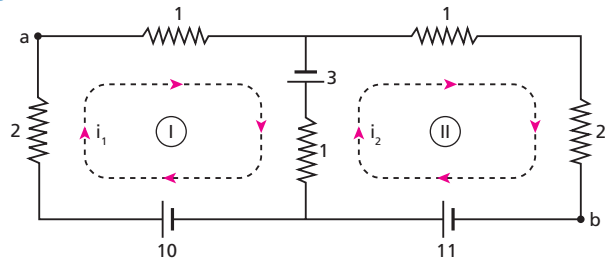
Página 199

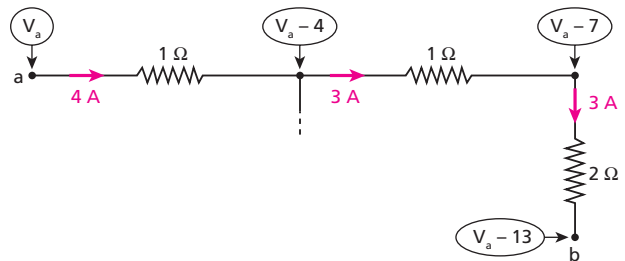
93.

$\Sigma_{fem} = \Sigma_{fcem} + R_{eq} \cdot i_{do\ caminho} \pm R_{do\ trecho\ comum} \cdot i_{do\ caminho\ ao\ lado}$

$\left.\begin{array}{l} I: 70 = 6 + 18 i_1 - 11 i_2 \\ II: 6 = 0 + 18 i_2 - 11 i_1 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{i_1 = 6\ A \text{ e } i_2 = 4\ A}$

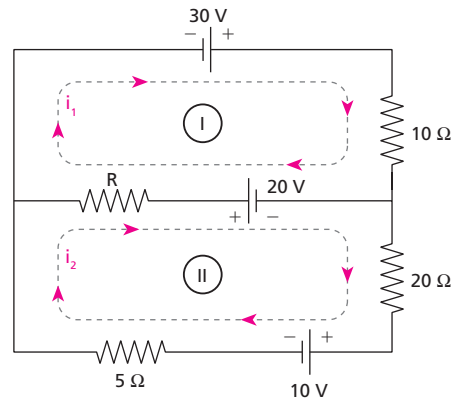
Resposta:

94.

$\left.\begin{array}{l} I: 6 = 9 + 50 i_1 \\ II: 0 = 5 + 100 i_2 \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{i_1 = -0{,}06\ A \text{ e } i_2 = -0{,}05\ A}$

Resposta:

95.

$\Sigma\ fem = \Sigma\ fcem + R_{eq}\ i_{no\ caminho} \pm R_{do\ trecho\ comum}\ i_{no\ caminho\ ao\ lado}$

$\left.\begin{array}{l} I: 13 = 4 i_1 - 1 i_2 \\ II: 11 = 3 + 4 i_2 - 1 i_1 \end{array}\right\} i_1 = 4\ A \text{ e } i_2 = 3\ A$

$V_b = V_a - 13 \Rightarrow V_a - V_b = 13\ V$

Resposta: 13 V

96.

$i_1 = I = 2\ A$

$\left.\begin{array}{l} I: 30 + 20 = (10 + R)\ i_1 - R\ i_2 \Rightarrow 50 = (10 + R) \cdot 2 - R\ i_2 \\ II: 0 = 30 + (R + 25)\ i_2 - R\ i_1 \Rightarrow 0 = 30 + (R + 25)\ i_2 - 2R \end{array}\right\} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{R = 15\ \Omega}$ e $\boxed{i_2 = 0}$

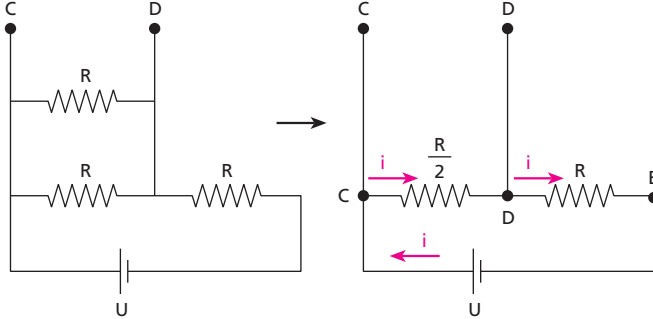
$\boxed{Pot_{20} = 0}$

Resposta: e

97.

a) 1 N, a intensidade aproximada do peso de um objeto de 100 g situado na superfície da Terra, é uma estimativa razoável para **F**:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{1\ N}{0{,}25 \cdot 10^{-4}\ m^2} \Rightarrow \boxed{p = 4 \cdot 10^4\ N/m^2}$$

b) $U = 6\ V$

$U_{CD} = \frac{R}{2}\ i$

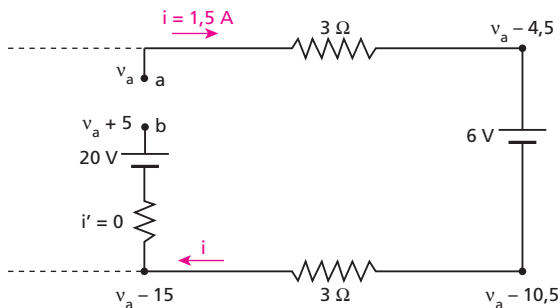
$U_{DE} = R\ i = 2U_{CD}$

$U_{CD} + U_{DE} = U_{CD} + 2U_{CD} = U = 6$

$\boxed{U_{CD} = 2\ V}$

Respostas: $4 \cdot 10^4\ N/m^2$ (com estimativa de 1 N para **F**); b) 2 V

98.

$24 = 6 + (3 + 3 + 3 + 3)\ i \Rightarrow i = 1{,}5\ A$

$\nu_{ab} = \nu_a - \nu_b = \nu_a - (\nu_a + 5) \Rightarrow |\nu_{ab}| = 5\ V$

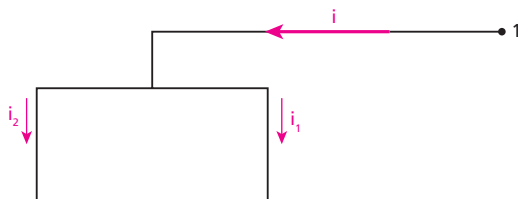
Resposta: 5 V

99.

a) A ddp entre os pontos 2 e 1 é **U**, dada por:

$U = V_2 - V_1 = 800 - 300 \Rightarrow U = 500\ V$

Como $U = R\ i$, temos:

$500 = 10^6 \cdot i \Rightarrow i = 5 \cdot 10^{-4}\ A$

No outro resistor de 1 MΩ, temos uma tensão de 300 V e uma corrente de intensidade i_1, dada por:

$U = R\ i_1 \Rightarrow 300 = 10^6\ i_1 \Rightarrow i_1 = 3 \cdot 10^{-4}\ A$

Como $i = i_1 + i_2$, temos:

$5 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot 10^{-4} + i_2 \Rightarrow i_2 = 2 \cdot 10^{-4}\ A$

b) Pelo Teorema da Energia Cinética, temos:

$$\tau_{F_{el}} = \frac{m\ v^2}{2} - \frac{m\ v_0^2}{2} \Rightarrow e\ U = \frac{m\ v^2}{2}$$

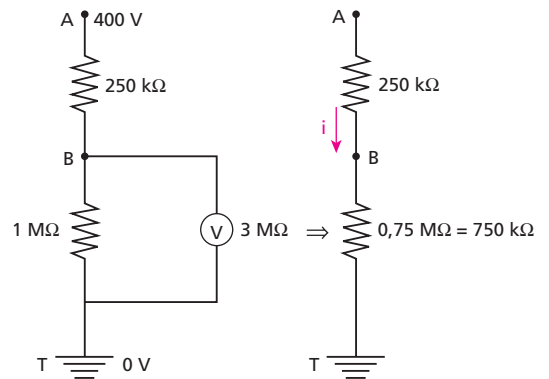
$$10^{-19} \cdot 300 = \frac{10^{-30} \cdot v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 60 \cdot 10^{12}$$

$v = 7{,}8 \cdot 10^6\ m/s$

c) $F = e\ E = e\ \frac{U}{d} = 10^{-19}\ \frac{300}{3 \cdot 10^{-3}}$

$F = 10^{-14}\ N$

Respostas: a) $2 \cdot 10^{-4}\ A$; b) $7{,}8 \cdot 10^6\ m/s$; c) $10^{-14}\ N$

100.

$U_{AT} = R_{AT}\ i \Rightarrow 400\ V = 1000\ k\Omega\ \ i \Rightarrow i = 0{,}4\ mA$

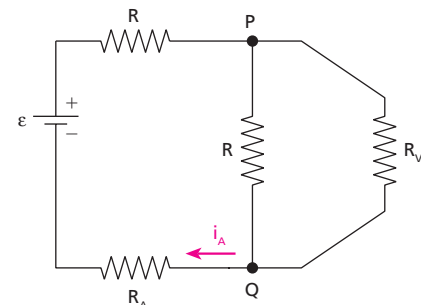
$U_{BT} = R_{BT}\ i \Rightarrow U_{BT} = 750\ k\Omega\ \ 0{,}4\ mA$

$U_{BT} = 300\ V$

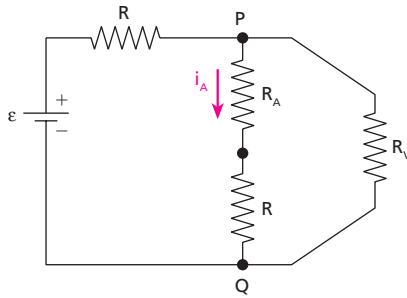
Resposta: 300 V

101.

$R_A = 0{,}01R$ e $R_V = 100R$

No circuito (2):

$$R_{PQ} = \frac{R\ R_V}{R + R_V} = \frac{R \cdot 100R}{101R} = 0{,}99R$$

$$R_2 = \frac{U_V}{i_A} = \frac{U_{PQ}}{i_A} = \frac{R_{PQ}\ i_A}{i_A} = R_{PQ} \Rightarrow \boxed{R_2 = 0{,}99R}$$

No circuito (3):

$$i_A = \frac{U_{PQ}}{R_A + R} = \frac{U_V}{R_A + R}$$

$$R_3 = \frac{U_V}{i_A} = \frac{U_V}{\frac{U_V}{R_A + R}} = R_A + R \Rightarrow \boxed{R_3 = 1{,}01\ R}$$

Portanto:

$$\boxed{R_2 < R < R_3}$$

Resposta: c

102.

No circuito I, temos:

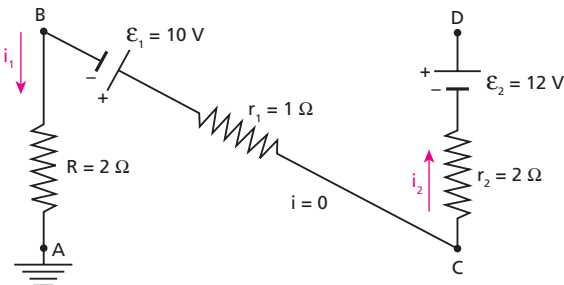
$6 = (2 + 2 + 2)i_1 \Rightarrow i_1 = 1\ A$ (sentido horário)

No circuito II, temos:

$12 = (2 + 1 + 1)i_2 \Rightarrow i_2 = 3\ A$ (sentido horário)

$\boxed{\nu_A = 0}$

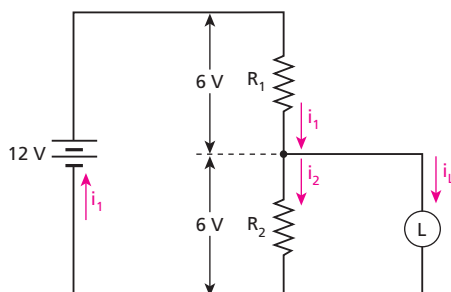
$\nu_B - \nu_A = R\,i_1 \Rightarrow \nu_B - 0 = 2 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{\nu_B = 2\ V}$

$\nu_C - \nu_B = \varepsilon_1 \Rightarrow \nu_C - 2 = 10 \Rightarrow \boxed{\nu_C = 12\ V}$

$\nu_D - \nu_C = \varepsilon_2 - r_2 i_2 \Rightarrow \nu_D - 12 = 12 - 2 \cdot 3$

$\boxed{\nu_D = 18\ V}$

Resposta: 18 V

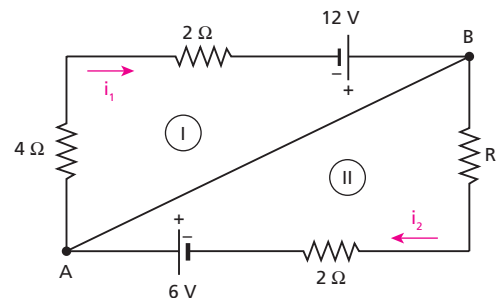
103.

- $Pot_L = U_L\, i_L \Rightarrow 3{,}0 = 6{,}0\, i_L \Rightarrow i_L = 0{,}50\ A$

- $R_1 + R_2 = 15\ \Omega$
- $R_1\, i_1 = 6{,}0 \Rightarrow i_1 = \frac{6{,}0}{R_1}$
- $R_2\, i_2 = 6{,}0 \Rightarrow i_2 = \frac{6{,}0}{R_2} = \frac{6{,}0}{15 - R_1}$
- $i_1 = i_2 + i_L \Rightarrow \frac{6}{R_1} = \frac{6}{15 - R_1} + 0{,}50 \Rightarrow \begin{matrix} R_1 = 5{,}35\ \Omega \\ R_2 = 9{,}65\ \Omega \end{matrix}$
- $i_1 = \frac{6{,}0}{R_1} = \frac{6{,}0}{5{,}35} \Rightarrow \boxed{i_1 = 1{,}12\ A}$

  $i_2 = \frac{6{,}0}{R_2} = \frac{6{,}0}{9{,}65} \Rightarrow \boxed{i_2 = 0{,}62\ A}$

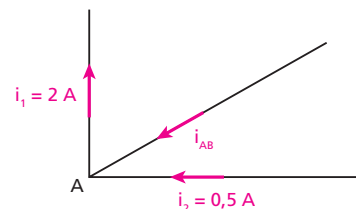
Resposta: 1,12 A e 0,62 A, respectivamente.

104.

a)

Em I, temos: $i_1 = \frac{12}{6} \Rightarrow \boxed{i_1 = 2\ A}$

Em II, temos: $i_2 = \frac{6}{12} \Rightarrow \boxed{i_2 = 0{,}5\ A}$

$i_{AB} + i_2 = i_1$

$i_{AB} + 0{,}5 = 2 \Rightarrow \boxed{i_{AB} = 1{,}5\ A}$

b) Como $i_1 = 2\ A$, devemos ter $i_2 = 2\ A$, para que i_{AB} seja nula:

Em II: $6 = (R + 2)\ 2 \Rightarrow \boxed{R = 1\ \Omega}$

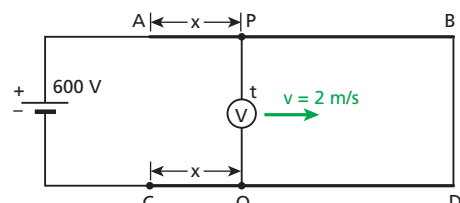
Resposta: a) 1,5 A

b) 1 Ω

105.

a) $R_{AB} = 150\ \Omega$ e $R_{CD} = 150\ \Omega$

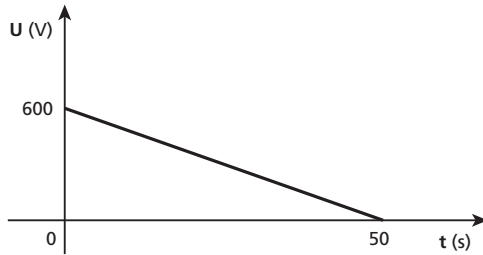
$\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 600 = 300\, i \Rightarrow i = 2\ A$

b) A figura mostra o voltímetro num instante qualquer **t**, sendo t = 0 o instante em que o voltímetro encontrava-se ligado aos pontos **A** e **C**.

Temos: $x = v\,t = 2t$

A indicação do voltímetro é **U**, dada por:

$U = \varepsilon - (R_{AP} + R_{CQ})\,i = \varepsilon - (x \cdot 1{,}5 + x \cdot 1{,}5)\,i$

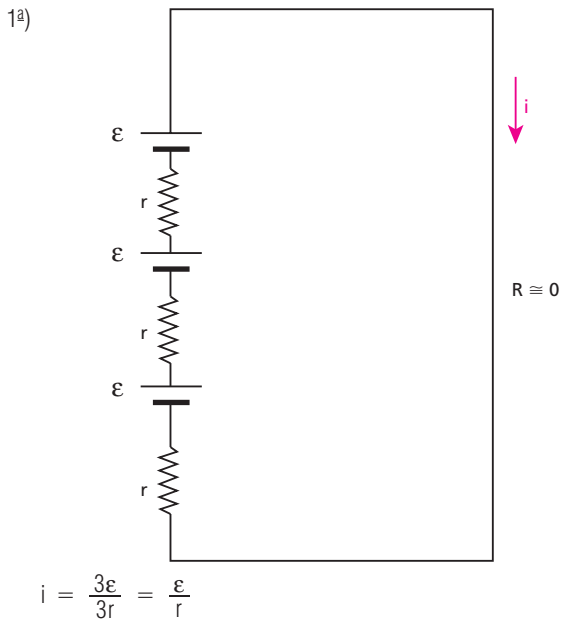
$U = 600 - 3x \cdot 2 = 600 - 6x = 600 - 6 \cdot 2t$

$\boxed{U = 600 - 12\,t}$ (SI)

Respostas: a) 2 A; b) veja o gráfico na resolução.

106. A informação “curto e grosso fio de cobre” sugere que a resistência elétrica do fio é extremamente pequena ($R \cong 0$).

Vamos analisar as quatro possibilidades:

1ª)

$$i = \frac{3\varepsilon}{3r} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Note que, se fosse usada uma única pilha, a corrente teria essa mesma intensidade.

2ª)

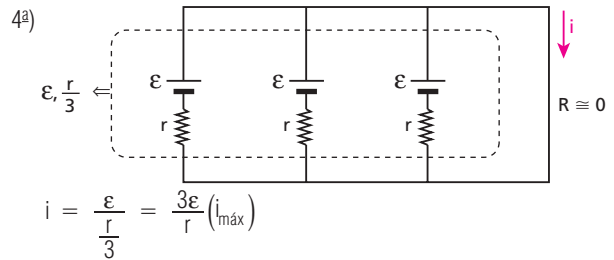
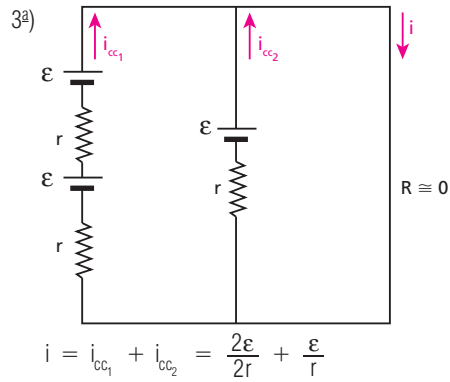
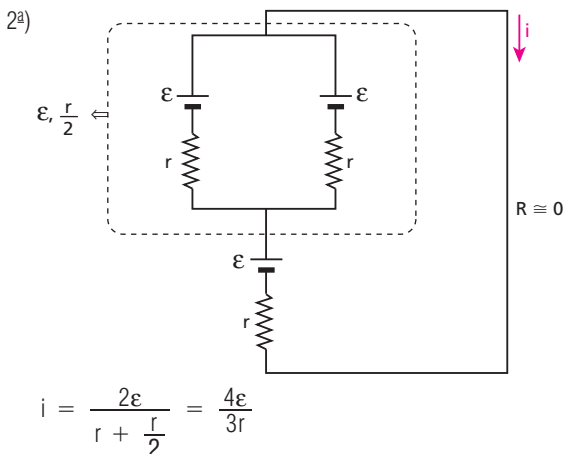
$$i = \frac{2\varepsilon}{r + \frac{r}{2}} = \frac{4\varepsilon}{3r}$$

3ª)

$$i = i_{cc_1} + i_{cc_2} = \frac{2\varepsilon}{2r} + \frac{\varepsilon}{r}$$

$$i = \frac{2\varepsilon}{r}$$

4ª)

$$i = \frac{\varepsilon}{\frac{r}{3}} = \frac{3\varepsilon}{r}\,(i_{máx})$$

Observação:

- Para a obtenção de corrente máxima num resistor de resistência **R**, a associação de geradores em série é a adequada quando **R** é maior que a resistência interna **r** de cada gerador. Quando, porém, **R** é menor que **r**, a associação adequada passa a ser em paralelo.

Resposta: Todas em paralelo

107.

$\nu_A - \nu_B = \varepsilon$

$$\frac{K\,Q}{R_A} - \frac{K\,(-Q)}{R_B} = \varepsilon$$

$$\frac{9 \cdot 10^9\,Q}{10^{-2}} = \frac{9 \cdot 10^9\,Q}{10^{-2}} = 5\,400$$

$$18 \cdot 10^9\,Q = 54 \Rightarrow Q = \frac{54}{18 \cdot 10^9}$$

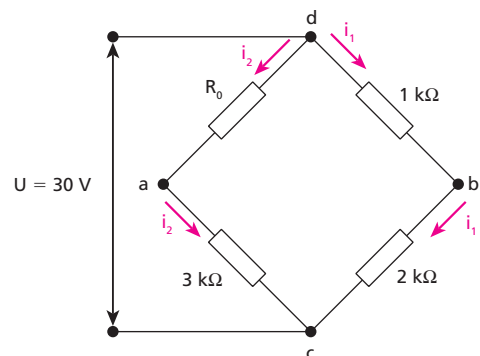
$\boxed{Q = 3 \cdot 10^{-9}\,C}$

$$F = \frac{K\,|Q_A| \cdot |Q_B|}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-9} \cdot 3 \cdot 10^{-9}}{1}$$

$\boxed{F = 8{,}1 \cdot 10^{-8}\,N}$

Resposta: $8{,}1 \cdot 10^{-8}$ N

108.

- Simbolizando por R_0 o valor de **R** na temperatura ambiente, temos:

- Cálculo de i_1:
  $U = R_{dbc}\, i_1 \Rightarrow 30\text{ V} = 3\text{ k}\Omega \cdot i_1 \Rightarrow i_1 = 10\text{ mA}$
- Cálculo de R_0

$$\left.\begin{aligned} V_a - V_c &= 3i_2 \\ V_b - V_c &= 2i_1 \end{aligned}\right\} \overset{(-)}{\Rightarrow} V_a - V_b = 3i_2 - 2i_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2{,}5 = 3i_2 - 20 \Rightarrow i_2 = 7{,}5\text{ mA}$$

$$U = R_{dac}\, i_2 \Rightarrow 30 = (R_0 + 3)\cdot 7{,}5 \Rightarrow \boxed{R_0 = 1\text{ k}\Omega}$$

- A tensão entre **a** e **b** será nula quando a ponte estiver equilibrada:

$$R \cdot 2 = 3 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{R = 1{,}5\text{ k}\Omega}$$

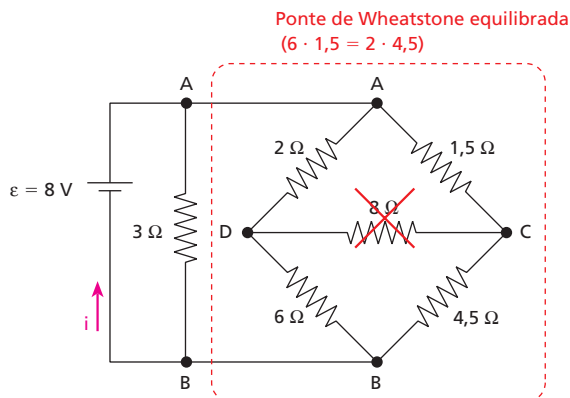
- Considerando que a temperatura inicial do resistor e do meio em que foi imerso seja a ambiente, temos:

$$\Delta R = \propto R_0\, \Delta\theta \Rightarrow (1{,}5 - 1) = (4{,}1 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 122\text{ °C}$$

$$\left.\begin{aligned} 10\text{ °C} &\Rightarrow 1\text{ min} \\ 122\text{ °C} &\Rightarrow \Delta t \end{aligned}\right\} \Rightarrow \boxed{\Delta t = 12{,}2\text{ minutos}}$$

Resposta: 12,2 minutos

109.

Redesenhando o circuito, temos:

$1{,}5\ \Omega$ em série com $4{,}5\ \Omega \Rightarrow R_{ACB} = 6\ \Omega$

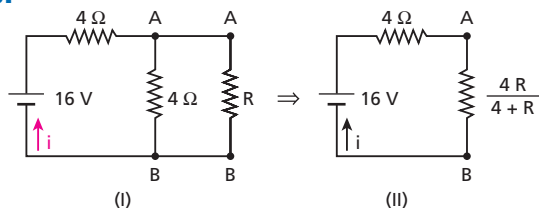
$2\ \Omega$ em série com $6\ \Omega \Rightarrow R_{ADB} = 8\ \Omega$

R_{ACB} em paralelo com $R_{ADB} \Rightarrow R_{ponte} = \dfrac{6 \cdot 8}{6 + 8} = \dfrac{48}{14} \Rightarrow R_{ponte} = \dfrac{24}{7}\ \Omega$

R_{ponte} em paralelo com $3\ \Omega \Rightarrow R_{eq} = \dfrac{\frac{24}{7} \cdot 3}{\frac{24}{7} + 3} \Rightarrow R_{eq} = 1{,}6\ \Omega$

$\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 8 = 1{,}6\, i \Rightarrow \boxed{i = 5\text{ A}}$

Resposta: 5 A

110.

Em II:

$$i = \frac{16}{4 + \dfrac{4R}{4 + R}}$$

$$U_{AB} = \frac{4R}{4 + R} \cdot \frac{16}{4 + \dfrac{4R}{4 + R}} \Rightarrow U_{AB} = \frac{8R}{R + 2}$$

Em I, calculemos a potência dissipada em **R**:

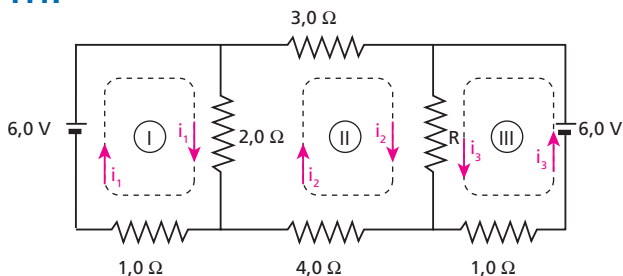
$$Pot = \frac{U_{AB}^{\,2}}{R} = \frac{\dfrac{64R^2}{R^2 + 4R + 4}}{R} = \frac{64R}{R^2 + 4R + 4}$$

$$Pot = \frac{64}{R + 4 + 4R^{-1}}$$

A potência será máxima quando a função $(R + 4 + 4R^{-1})$ for mínima. Então, a derivada dessa função em relação a **R** deverá ser nula:

$$1 + 0 + 4(-1)R^{-2} = 0 \Rightarrow \frac{4}{R^2} = 1 \Rightarrow R = 2\ \Omega$$

Resposta: 2 Ω

111.

Em I: $6 = 0 + 3i_1 - 2i_2 \Rightarrow i_1 = \dfrac{6 + 2i_2}{3}$ (I)

Em II: $0 = 0 + (9 + R)\, i_2 - 2i_1 + R\, i_3$ (II)

Em III: $6 = 0 + (R + 1)\, i_3 + R\, i_2$

$$\boxed{i_3 = \frac{6 - R\, i_1}{R + 1}} \qquad \text{(III)}$$

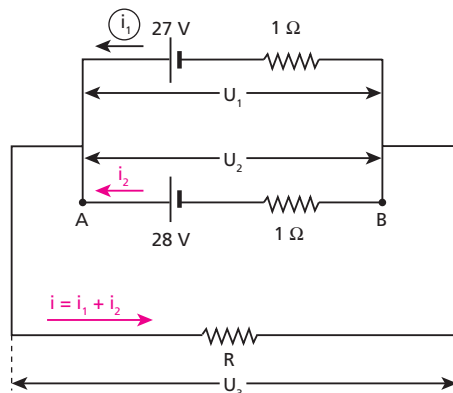
Substituindo (I) e (III) em (II), obtemos:

$$(9 + R)\, i_1 - 2\left(\frac{6 + 2i_2}{3}\right) + R\left(\frac{6 - R\, i_2}{R + 1}\right) = 0$$

Respostas: a) Para $R = 2{,}0\ \Omega$: $i_2 = 0$; b) para $R = 3{,}0\ \Omega$: $i_2 = 0{,}06$ A

Nota: Também podemos responder ao item **a** baseados na simetria do circuito.

112.

a) Não há dúvida de que a bateria (ε_2, r_2), por ter maior fem, opera como gerador. Vamos supor que a bateria (ε_1, r_1) também opere como gerador. Observe, então, os sentidos das correntes:

$U_1 = U_2 \Rightarrow 27 - 1i_1 = 28 - 1i_2$

$i_2 = i_1 + 1$ (I)

$U_1 = U_3 \Rightarrow 27 - 1i_1 = R\,(i_1 + i_2)$

$27 - i_1 = R\, i_1 + R\, i_2$ (II)

Substituindo (I) em (II), temos:

$27 - i_1 = R\,i_1 + R\,(i_1 + 1)$

$$i_1 = \frac{27 - R}{2R + 1}$$

Para que o sentido de i_1 seja o considerado no circuito, devemos ter: $i_1 > 0$

Então:

$$\frac{27 - R}{2R + 1} > 0 \Rightarrow \boxed{R < 27\,\Omega}$$

b) Para que a bateria (ε_1, r_1) opere como receptor, o valor de i_1 na expressão anterior deve ser negativo. Para isso acontecer, os valores de **R** devem ser dados por:

$\boxed{R > 27\,\Omega}$

c) Para a bateria (ε_1, r_1) não operar, devemos ter $i_1 = 0$, o que nos leva a:

$R = 27\,\Omega$

Note que, nessa situação:

$\varepsilon_2 = R_{eq}\,i_2$

$\varepsilon_2 = (R + r_2)\,i_2$

$28 = (27 + 1)\,i_2 \Rightarrow i_2 = 1\text{ A}$

e

$U_2 = \varepsilon_2 - r_2 \cdot i_2 = 28 - 1 \cdot 1 \Rightarrow \boxed{U_2 = 27\text{ V}}$

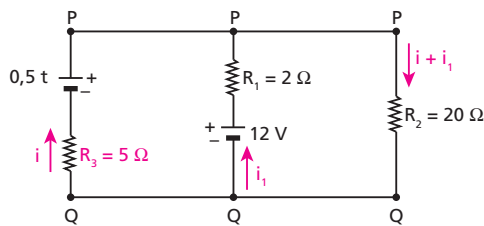
A partir desse estado, se **R** aumentar, ou seja, tornar-se maior que 27 Ω, a corrente i_2 certamente diminuirá e, com isso, U_2 ficará maior que 27 V. Então, o potencial do ponto **A** estará um pouco mais de 27 V acima do de **B**.

É aí que (ε_2, r_2) impõe uma corrente em (ε_1, r_1), tornando-a um receptor.

Respostas: a) $R < 27\,\Omega$; b) $R > 27\,\Omega$; c) $R = 27\,\Omega$

113.

Resolução 1

Supondo **B** e **G** operando como geradores e redesenhando o circuito, temos:

Entre os pontos **P** e **Q**, podemos escrever:

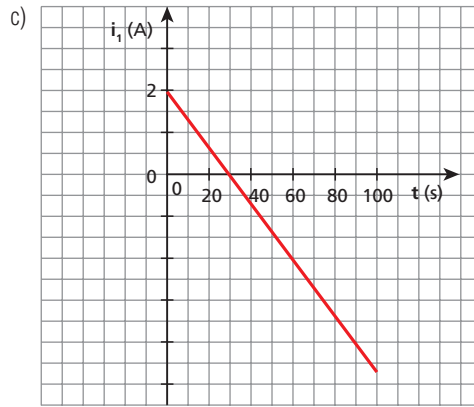
$$\left.\begin{array}{l} 0{,}5t - 5i = 12 - 2i_1 \\ 12 - 2i_1 = 20\,(i + i_1) \end{array}\right\} \Rightarrow i_1 = 2 - \frac{t}{15}\ \text{(SI)}$$

a) Fazendo $t = 0$ na expressão de i_1, obtemos:

$\boxed{i_1 = 2\text{ A}}$

b) Impondo $i_1 = 0$:

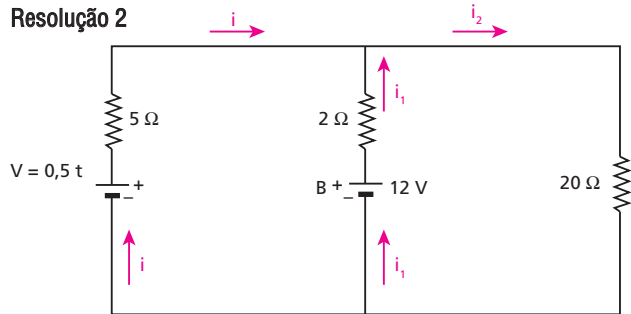
$$2 - \frac{t_0}{15} = 0 \Rightarrow \boxed{t_0 = 30\text{ s}}$$

c)

d) Para $t = 90$ s:

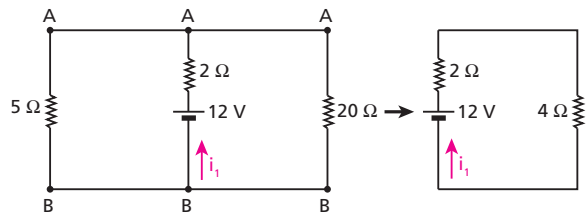
$$i_1 = 2 - \frac{90}{15} \Rightarrow \boxed{i_1 = -4\text{ A}}$$

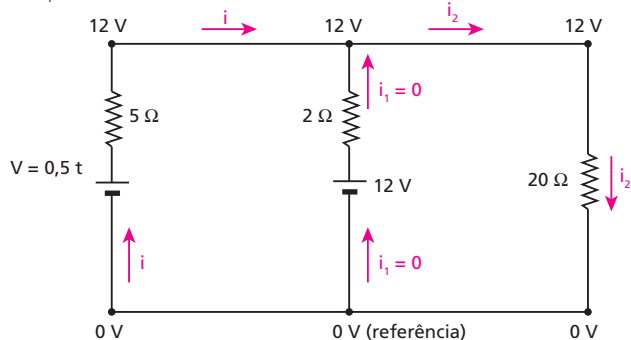
Sendo $i_1 < 0$, a bateria está operando como receptor elétrico, recebendo a potência :

$P = 12\,|i_1| = 12 \cdot 4 \Rightarrow \boxed{Pot = 48\text{ W}}$

Resolução 2

a) Para $t = 0$: $V = 0{,}5\,t = 0{,}5 \cdot 0 = 0$

Mesmo não gerando, entretanto, um gerador é **um** condutor. Além disso, em boas condições, pode ser considerado ideal:

5 Ω e 20 Ω em paralelo: 4 Ω

$\varepsilon = R_{eq} \cdot i_1 \Rightarrow 12 = (4 + 2)\,i_1 \Rightarrow i_1 = 2\text{ A}$

b) $i_1 = 0$:

No resistor de 20 Ω: $U = R\,i_2$

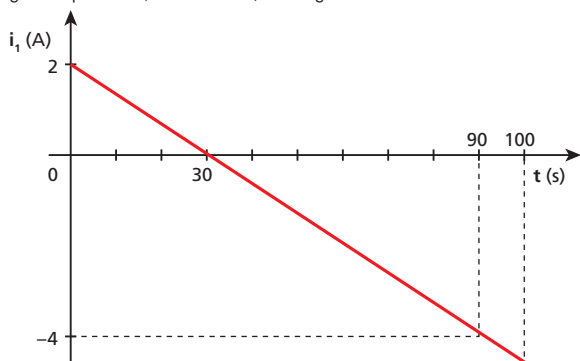
$12 = 20\,i_2 \Rightarrow i_2 = 0{,}6\text{ A}$

$\therefore \boxed{i = 0{,}6\text{ A}}$

No gerador V = 0,5 t:

$U = \varepsilon - r\,i$

$12 = 0{,}5t_0 - 5 \cdot 0{,}6 \Rightarrow 0{,}5t_0 = 15 \Rightarrow \boxed{t_0 = 30\text{ s}}$

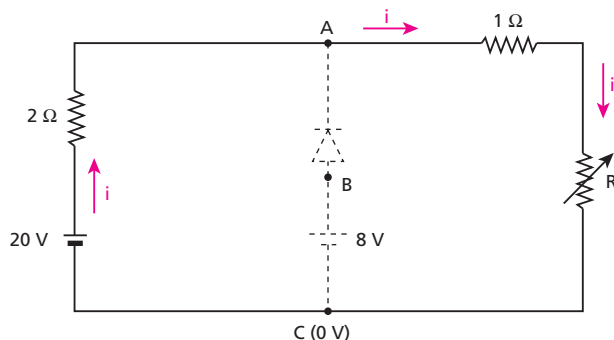
c) Como a única fem variável (0,5 t) é função de primeiro grau em **t**, o gráfico pedido é, com certeza, um segmento de reta:

d) Em t = 90 s: $i_1 = -4\text{ A}\ (B \dashv\vdash \downarrow i_1 < 0)$

Então, **B** passou a ser um receptor elétrico.

$P = \varepsilon' |i_1| = 12 \cdot 4 \Rightarrow \boxed{P = 48\text{ W}}$ (recebida)

Respostas: a) 2 A; b) 30 s; c) veja o gráfico na resolução; d) 48 W, recebida pela bateria

114.

Suponhamos que o diodo não esteja conduzindo:

Considerando nulo o potencial elétrico no ponto **C**, temos:

$\nu_C = 0 \Rightarrow \nu_B = 8\text{ V} \Rightarrow \nu_A > 8\text{ V}$ (pois $\nu_B < \nu_A$)

$\nu_A - \nu_C = 20 - 2i \Rightarrow 20 - 2i > 8 \Rightarrow i < 6\text{ A}$

$\varepsilon = R_{eq}\,i \Rightarrow 20 = (2 + 1 + R)\,i$

$$i = \frac{20}{3 + R} < 6 \Rightarrow R > \frac{1}{3}\ \Omega$$

Portanto:

- para $R > \frac{1}{3}\ \Omega$, o diodo não conduz;
- para $R \leqslant \frac{1}{3}\ \Omega$, o diodo conduz.

a) $R = 2\ \Omega$: o diodo não conduz.

$20 = (2 + 1 + 2)\,i \Rightarrow \boxed{i = 4\text{ A}}$

b) R = 0: o diodo conduz.

$U_{AC} = (R + 1)\,i_0 \Rightarrow 8 = (0 + 1)\,i_0 \Rightarrow \boxed{i_0 = 8\text{ A}}$

c) $\boxed{R = \frac{1}{3}\ \Omega}$

Respostas: a) 4 A; b) 8 A; c) $\frac{1}{3}\ \Omega$

Tópico 4 – Capacitores

Página 213

2.

a) $Q = C\,U = 10\ \mu\text{F} \cdot 3{,}0\text{ V} \Rightarrow \boxed{Q = 30\ \mu\text{C}}$

b) $E_P = \frac{CU^2}{2} = \frac{10\ \mu\text{F} \cdot (3{,}0\text{ V})^2}{2} \Rightarrow \boxed{E_P = 45\ \mu\text{J}}$

Respostas: a) 30 μC; b) 45 μJ

3.

No capacitor: $U = \varepsilon \Rightarrow \boxed{\varepsilon = 9\text{ V}}$

- $\varepsilon = R_{eq}\,i \Rightarrow 9 = (4{,}9 + r) \cdot 1{,}8 \Rightarrow \boxed{r = 0{,}1\ \Omega}$

Resposta: 9 V e 0,1 Ω

5.

Chave em **X**: $\varepsilon = R_{eq}\,i = 24 \cdot 0{,}25 \Rightarrow \varepsilon = 6{,}0\text{ V}$

Chave em **Y**: $Q = C\,\varepsilon = 1\text{ nF} \cdot 6{,}0\text{ V} \Rightarrow \boxed{Q = 6{,}0\text{ nC}}$

Resposta: b

6.

- **U** é constante, pois o capacitor permanece ligado à bateria.
- $C = \frac{\epsilon A}{d}$: aumentando **d**, **C** diminui.
- $Q = C\,U$: **C** diminui $\Rightarrow$ **Q** diminui.

Resposta: d

7.

- **Q** é constante, pois o capacitor está desligado.
- $C = \frac{\epsilon A}{d}$: aumentando **d**, **C** diminui.
- $U = \frac{Q}{C}$: **C** diminui $\Rightarrow$ **U** aumenta.
- $E_p = \frac{Q\,U}{2}$: **U** aumenta $\Rightarrow$ E_p aumenta.

Resposta: e

8.

- $C = \frac{\epsilon A}{d}$: ϵ aumenta $\Rightarrow$ **C** aumenta
- $Q = C\,U$: **U** não varia $\Rightarrow$ **Q** aumenta.
- $Ed = U$: **U** e d não variam $\Rightarrow$ **E** não varia.
- $E_p = \frac{C\,U^2}{2}$: **U** não varia e **C** aumenta $\Rightarrow$ E_p aumenta.

Resposta: c

9.

- $C = \frac{\epsilon A}{d}$: ϵ aumenta $\Rightarrow$ **C** aumenta.
- $U = \frac{Q}{C}$: **Q** não varia e **C** aumenta $\Rightarrow$ **U** diminui.
- $E = \frac{U}{d}$: **d** não varia e **U** diminui $\Rightarrow$ **E** diminui.
- $E_p = \frac{Q\,U}{2}$: **Q** não varia e **U** diminui $\Rightarrow$ E_p diminui.

Resposta: b

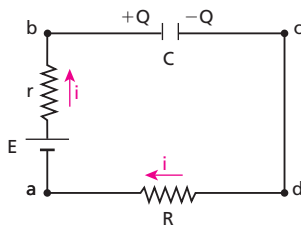
10.

$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{(8{,}8 \cdot 10^{-12})\, 1{,}0}{1{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{C = 0{,}88 \cdot 10^{-9}\,F = 0{,}88\,nF}$

Resposta: 0,88 nF

11.

Mesmo que o estudante não conheça o circuito RC, as letras que aparecem nas partes do circuito permitem montá-lo:

Sendo $i \neq 0$, o capacitor ainda não atingiu a carga final.

- No gerador:

  $\nu_b - \nu_a = \varepsilon - r\,i$
- No capacitor:

  $U = \frac{Q}{C} \Rightarrow \nu_b - \nu_c = \frac{Q}{C}$ ou $\nu_c - \nu_b = \frac{-Q}{C}$
- No fio ideal: $U = 0 \Rightarrow \nu_d - \nu_c = 0$
- No resistor: $U = R\,i \Rightarrow \nu_d - \nu_a = R\,i$

Resposta: c

13.

a) • $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 + R_{eq}\, i \Rightarrow 12 = 6 + 30i \Rightarrow i = 0{,}2\,A$

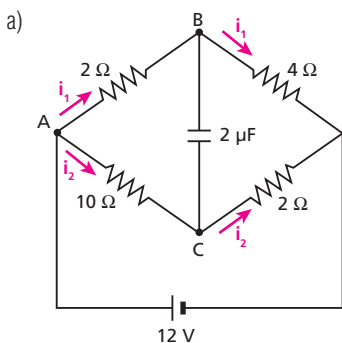
• No capacitor: $U = \varepsilon_1 - 20i = 12 - 20 \cdot 0{,}2 \Rightarrow U = 8\,V$

$Q = C\,U = 1{,}5\,\mu F \cdot 8\,V \Rightarrow \boxed{Q = 12\,\mu C}$

b) $Pot = R\,i^2 = 10 \cdot 0{,}2^2 \Rightarrow \boxed{Pot = 0{,}4\,W}$

Respostas: a) 12 μC; b) 0,4 W

14.

a)

$12 = (2 + 4)\, i_1 \Rightarrow i_1 = 2\,A$

$12 = (10 + 2)\, i_2 \Rightarrow i_2 = 1\,A$

$\left.\begin{array}{l}\nu_A - \nu_B = 2i_1 = 2 \cdot 2 \Rightarrow \nu_A - \nu_B = 4 \\ \nu_A - \nu_C = 10i_2 = 10 \cdot 1 \Rightarrow \nu_A - \nu_C = 10\end{array}\right\} \Rightarrow$

$\Rightarrow \nu_B - \nu_C = 6\,V$ (**U** no capacitor)

$Q = C\,U = 2\,\mu F \cdot 6\,V \Rightarrow Q = 12\,\mu C$

b) Deveríamos ter $\nu_B = \nu_C$: ponte de Wheatstone em equilíbrio.

Para isso: $4R = 2 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{R = 1\,\Omega}$

Respostas: a) 12 μC; b) 1 Ω

15.

Energia armazenada no capacitor:

$E_p = \frac{C\,U^2}{2} = \frac{13 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2}{2}$

$E_p = 6{,}5 \cdot 10^{-2}\,J$

Após o fechamento da chave, a tensão é a mesma em todos os elementos do circuito, a cada instante. Como a energia dissipada nos resistores obedece a uma expressão do tipo:

$E_d = \frac{U_2}{R}\,\Delta t = \frac{K}{R}$, temos:

$\frac{K}{1} + \frac{K}{5} + \frac{K}{10} = 6{,}5 \cdot 10^{-2} \Rightarrow K = 5 \cdot 10^{-2}$ (SI)

A energia dissipada no resistor de 1 Ω vale, então:

$E_d = \frac{K}{R} = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{1} \Rightarrow E_d = 5 \cdot 10^{-2}\,J$

Resposta: $5 \cdot 10^{-2}$ J

16.

a) $Q = C\,U = 10\,nF \cdot 12\,V \Rightarrow \boxed{Q = 120\,nC}$

$E_p = \frac{Q\,U}{2} = \frac{120\,nC \cdot 12\,V}{2} \Rightarrow \boxed{E_p = 720\,nJ}$

b) Reduzindo à metade a distância entre as armaduras, a capacitância dobra:

$Q = C'\,U' = 120\,nC = 20\,nF \cdot U'$

$\boxed{U' = 6\,V}$

c) $E'_p = \frac{Q\,U'}{2} = \frac{120\,nC \cdot 6\,V}{2} \Rightarrow \boxed{E'_p = 360\,nJ}$

Respostas: a) 120 nC e 720 nJ; b) 6 V; c) 360 nJ

17.

a) O campo elétrico induzido no material isolante reduz o campo elétrico resultante entre as placas. Por isso: $\boxed{F < F_0}$.

b) Sejam C_0 e U_0 a capacitância e a ddp entre as placas no vácuo: $Q = C_0\,U_0$

Com a introdução do dielétrico, a capacitância passa a ser $C = \epsilon_r\,C_0$ e a ddp entre as placas passa a ser $U = \frac{U_0}{\epsilon_r}$, já que a carga **Q** é constante: $Q = C\,U = \epsilon_r\,C_0 \cdot \frac{U_0}{\epsilon_r} = C_0\,U_0$.

Sendo E_0 e **E** as intensidades do vetor campo elétrico entre as placas nas situações inicial e final, respectivamente, temos:

$E_0\,d = U_0 \Rightarrow E_0 = \frac{U_0}{d}$

$Ed = U \Rightarrow E = \frac{U}{d} = \frac{\frac{U_0}{\epsilon_r}}{d} = \frac{E_0}{\epsilon_r}$

Então:

$F_0 = |q|\,E_0$ e $F = |q|\,E = |q|\,\frac{E_0}{\epsilon_r} \Rightarrow \boxed{F = \frac{F_0}{\epsilon_r}}$

Notemos que, como ϵ_r é maior que 1, **F** é realmente menor que F_0.

Respostas: a) Menor; b) $F = \frac{F_0}{\epsilon_r}$

18.

- $A = 40 \cdot 10^{-6}\,m^2$, $d_i = 0{,}7 \cdot 10^{-3}\,m$;

  $\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}\,\frac{F}{m}$; $\Delta C_{mín} = 0{,}2\,pF$.
- Capacitância inicial: $C_i = \frac{\epsilon_0\,A}{d_i}$ (I)

Unidade II – Eletrodinâmica

Capacitância após deslocamento mínimo da tecla ($\Delta d_{mín}$):

$$C = \frac{\epsilon_0 \; A}{d_i - \Delta d_{mín}} \quad (II)$$

- (II) – (I): $\Delta C_{mín} = \epsilon_0 A \left(\frac{1}{d_i - \Delta d_{mín}} - \frac{1}{d_i} \right)$

Substituindo os valores fornecidos, obtemos:

$\boxed{\Delta d_{mín} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0{,}2 \text{ mm}}$

Resposta: b

Página 218

20.

a) • $C_{eq} = \frac{C_1 \, C_2}{C_1 + C_2} = \frac{18 \cdot 6}{18 + 6} \Rightarrow C_{eq} = 4{,}5 \; \mu F$

- $Q = C_{eq} \, \varepsilon = 4{,}5 \cdot 12 \Rightarrow Q = 54 \; \mu C \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{Q_1 = Q_2 = 54 \; \mu C}$

b) $Q_1 = C_1 \, U_1 \Rightarrow 54 = 18 U_1 \Rightarrow \boxed{U_1 = 3 \text{ V}}$

Respostas: a) $Q_1 = Q_2 = 54 \; \mu C$; b) $U_1 = 3$ V

21.

- $\varepsilon = R_{eq} i \Rightarrow 24 = 12{,}0 i \Rightarrow i = 2{,}0$ A
- $U_{AB} = (3{,}0 + 5{,}0) \, i = 8{,}0 \cdot 2{,}0 \Rightarrow U_{AB} = 16$ V
- $Q_1 = C_1 \, U_{AB} = 0{,}20 \cdot 16 \Rightarrow \boxed{Q_1 = 3{,}2 \; \mu C}$

$Q_2 = C_2 \, U_{AB} = 0{,}50 \cdot 16 \Rightarrow \boxed{Q_2 = 8{,}0 \; \mu C}$

Resposta: 3,2 μC e 8,0 μC, nos capacitores de capacitâncias C_1 e C_2, respectivamente.

23.

a) $C_{AB} = \frac{4 \cdot 12}{4 + 12} \Rightarrow \boxed{C_{AB} = 3 \; \mu F}$

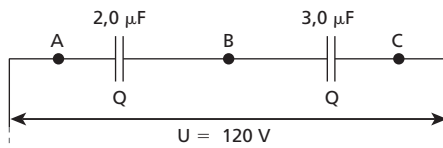
b) $C_{AB} = 100 + 20 \Rightarrow \boxed{C_{AB} = 120 \text{ nF}}$

c) • 4 μF, 6 μF e 5 μF em paralelo ⇒ 15 μF

- 10 μF em série com 15 μF: $C_{AB} = \frac{10 \cdot 15}{10 + 15}$

$\boxed{C_{AB} = 6 \; \mu F}$

Respostas: a) 3 μF; b) 120 nF; c) 6 μF

24.

- $C_{AB} = 2{,}0 \; \mu F$
- $Q = C_{eq} \, U = \frac{2{,}0 \cdot 3{,}0}{2{,}0 + 3{,}0} \cdot 120 \Rightarrow Q = 144 \; \mu C$
- Em C_3: $Q = C_3 \, U_{BC} \Rightarrow 144 = 3{,}0 \, U_{BC}$

$\boxed{U_{BC} = 48 \text{ V}}$

Resposta: 48 V

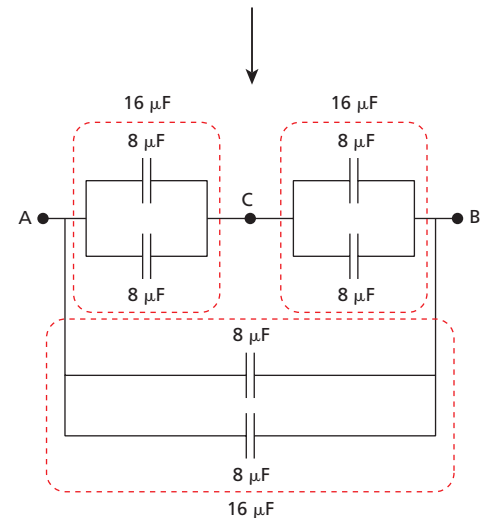
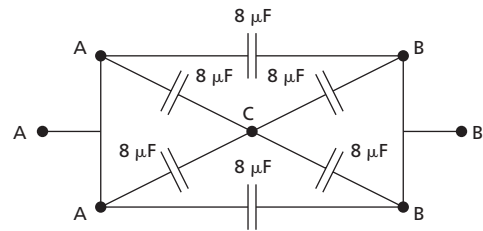
25.

a) • 4 nF em série com 12 nF: $\frac{4 \cdot 12}{4 + 12} \Rightarrow 3$ nF

- 3 nF em paralelo com 7 nF ⇒ 10 nF
- 10 nF em série com 15 nF: $\frac{10 \cdot 15}{10 + 15} \Rightarrow \boxed{6 \text{ nF}}$
- 8 nF em série com 8 nF ⇒ $\boxed{4 \text{ nF}}$
- $\boxed{4 \text{ nF}}$ em paralelo com $\boxed{6 \text{ nF}}$ ⇒ $\boxed{C_{AB} = 10 \text{ nF}}$

b) • 10 μF em série com 10 μF ⇒ 5 μF

- 4 μF em série com 12 μF ⇒ 3 μF
- 5 μF, 2 μF e 3 μF em paralelo ⇒ $\boxed{C_{AB} = 10 \; \mu F}$

c)

- 16 μF em série com 16 μF ⇒ 8 μF
- 8 μF em paralelo com 16 μF ⇒ $\boxed{R_{AB} = 24 \; \mu F}$

Respostas: a) 10 nF; b) 10 μF; c) 24 μF

27.

$\varepsilon_{eq} = R_{eq} \, i \Rightarrow 21 = 3i \Rightarrow i = 7$ A

Nos terminais da associação dos capacitores:

$U = 9 - 1 \cdot 7 \Rightarrow U = 2$ V

$Q = C_{eq} \, U = 2{,}5 \; \mu F \cdot 2 \text{ V} \Rightarrow Q = 5 \; \mu C$

$\boxed{Q_A = Q_B = 5 \; \mu C}$

Resposta: $Q_A = Q_B = 5 \; \mu C$

28.

Temos: $6 + 12 = U_1 + U_2$

$$18 = \frac{Q}{3 \cdot 10^{-6}} + \frac{Q}{6 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow 18 = \frac{3Q}{6 \cdot 10^{-6}}$$

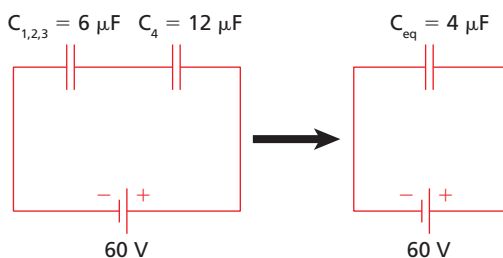
$Q = 36 \cdot 10^{-6}\,C$

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{36 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{U_1 = 12\,V}$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{36 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{U_2 = 6\,V}$$

Resposta: $U_1 = 12\,V$ e $U_2 = 6\,V$

29.

Associando os capacitores C_1, C_2 e C_3, passamos a ter:

$Q = C_{eq}\,U$

$Q = 4 \cdot 60$

Como a carga em C_{eq} é igual às cargas em

$C_{1,2,3}$ e em C_4, temos: $\boxed{Q_4 = 240\,\mu C}$

$$U_4 = \frac{Q_4}{C_4} \Rightarrow U_4 = \frac{240}{12} \Rightarrow \boxed{U_4 = 20\,V}$$

A ddp em $C_{1,2,3}$ é dada por:

$$U = \frac{240}{6} \Rightarrow U = 40\,V$$

Assim: $\boxed{U_3 = 40\,V}$

$$Q_3 = C_3\,U_3 \Rightarrow Q_3 = 2 \cdot 40 \Rightarrow \boxed{Q_3 = 80\,\mu C}$$

C_1 e C_2, em série, equivalem a $4\,\mu F$. Logo:

$$Q_1 = Q_2 = 4 \cdot 40 \Rightarrow \boxed{Q_1 = Q_2 = 160\,\mu C}$$

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = U_1 = \frac{160}{5} \Rightarrow \boxed{U_1 = 32\,V}$$

$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = U_2 = \frac{160}{20} \Rightarrow \boxed{U_2 = 8\,V}$$

Resposta:

$Q_1 = 160\,\mu C$ e $U_1 = 32\,V$

$Q_2 = 160\,\mu C$ e $U_2 = 8\,V$

$Q_3 = 80\,\mu C$ e $U_3 = 40\,V$

$Q_4 = 240\,\mu C$ e $U_4 = 20\,V$

30.

a) $C_1 = \frac{\epsilon_0\,A}{d}$ e $C_2 = \epsilon_r\,C_1 \Rightarrow \boxed{C_2 > C_1}$ $(\epsilon_r > 1)$

b) $\boxed{U_1 = U_2 = \varepsilon}$

c) $Q_1 = C_1\,\varepsilon$ e $Q_2 = C_2\,\varepsilon$

$C_2 > C_1 \Rightarrow \boxed{Q_2 > Q_1}$

d) $E_1 = \frac{\varepsilon}{d}$ e $E_2 = \frac{\varepsilon}{d} \Rightarrow \boxed{E_1 = E_2}$

Respostas: a) $C_2 > C_1$; b) $U_1 = U_2$; c) $Q_2 > Q_1$; d) $E_1 = E_2$

31.

I) (V) $C_A = \frac{\epsilon_0\,A}{d}$ e $C_B = \frac{6\,\epsilon_0\,A}{d} \Rightarrow \boxed{C_B = 6C_A}$

II) • (F) Como os capacitores estão em série: $\boxed{Q_A = Q_B = Q}$

• $U_A + U_B = \varepsilon$

$$U = \frac{Q}{C} \Rightarrow \frac{Q}{C_A} + \frac{Q}{6C_A} = \varepsilon \Rightarrow \frac{Q}{C_A} = \frac{6}{7}\,\varepsilon \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} U_A = \frac{6}{7}\,\varepsilon \\ U_B = \frac{1}{7}\,\varepsilon \end{cases} \Rightarrow \boxed{U_A = 6U_B}$$

III) • (F) Com a chave aberta, o trânsito de cargas fica impedido.

Assim: $\boxed{Q_A = Q_B = Q}$

• Agora, passamos a ter $C_A = C_B$.

Então:

$$\boxed{U_A = \frac{Q}{C_A} = \frac{6}{7}\,\varepsilon} \text{ e } \boxed{U_B = \frac{Q}{C_B} = \frac{Q}{C_A} = \frac{6}{7}\,\varepsilon}$$

Portanto, a ddp em **A** não se modifica, mas em **B** fica multiplicada por 6 (em relação à situação de chave fechada).

Resposta: I. V; II. F; III. F

33.

$C_A = 3C_B$

$C_B = 2C_C$ e $Q_{AB} = 18\,\mu C$

Como os capacitores estão em paralelo, $U_A = U_B = U_C$. Então:

$$\frac{Q_A}{C_A} = \frac{Q_B}{C_B} = \frac{Q_C}{C_C} \Rightarrow \frac{Q_A}{6C_C} = \frac{Q_B}{2C_C} = \frac{Q_C}{C_C}$$

$$\frac{Q_A + Q_B + Q_C}{6 + 2 + 1} = \frac{Q_A}{6} = \frac{Q_B}{2} = \frac{Q_C}{1}$$

$$\frac{18}{9} = \frac{Q_A}{6} \Rightarrow Q_A = 12\,\mu C$$

$$\frac{18}{9} = \frac{Q_B}{2} \Rightarrow Q_B = 4\,\mu C$$

$$\frac{18}{9} = \frac{Q_C}{1} \Rightarrow Q_C = 2\,\mu C$$

Resposta:

$12\,\mu C$; $4\,\mu C$ e $2\mu C$ em **A**, **B** e **C**, respectivamente.

34.

$$U = R\,i \Rightarrow \text{ohm} = \frac{\text{volt}}{\text{ampère}} = \frac{\text{volt}}{\frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}} = \frac{\text{volt} \cdot \text{segundo}}{\text{coulomb}}$$

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{farad} = \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}}$$

Assim:

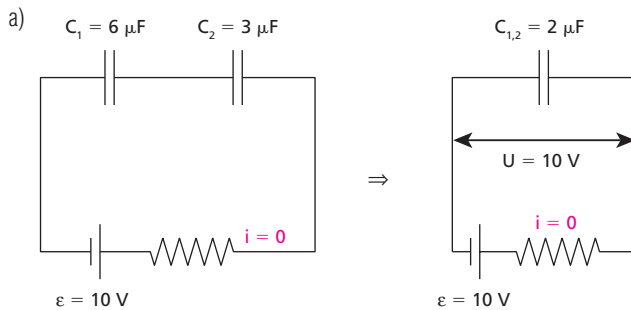
$$\text{ohm} \cdot \text{farad} = \frac{\text{volt} \cdot \text{segundo}}{\text{coulomb}} \cdot \frac{\text{coulomb}}{\text{volt}}$$

$$\boxed{\Omega \cdot F = s}$$

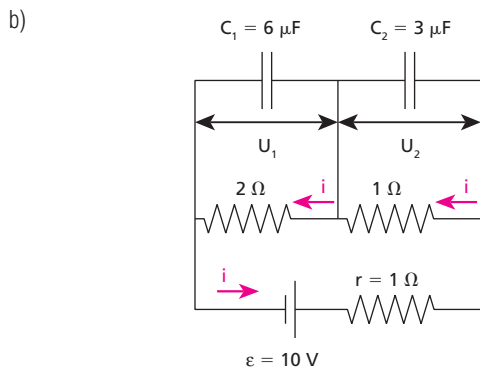
Resposta: Veja a demonstração.

35.

a)

⇒

$$Q_{1,2} = C_{12}\,U = 2\,\mu F \cdot 10\,V$$

$$Q_{1,2} = 20\,\mu C \Rightarrow \boxed{Q_1 = Q_2 = 20\,\mu C}$$

b)

$$\varepsilon = R_{eq}\,i \Rightarrow 10 = 4i \Rightarrow i = 2{,}5\,A$$

$$U_1 = 2i = 2 \cdot 2{,}5 \Rightarrow U_1 = 5\,V$$

$$Q_1 = C_1\,U_1 = 6\,\mu F \cdot 5\,V \Rightarrow \boxed{Q_1 = 30\,\mu C}$$

$$U_2 = 1i = 1 \cdot 2{,}5 \Rightarrow U_2 = 2{,}5\,V$$

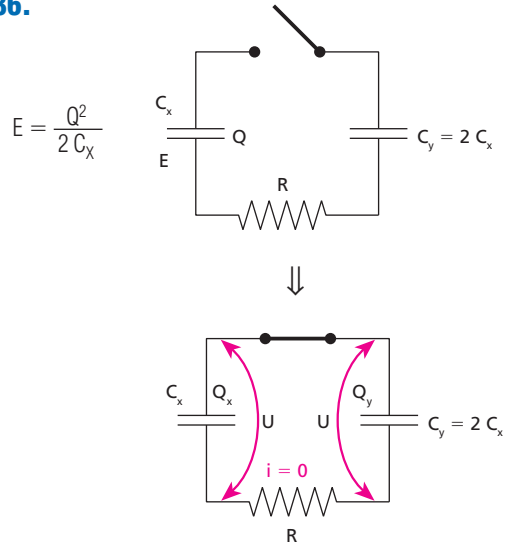
$$Q_2 = C_2\,U_2 = 3\,\mu F \cdot 2{,}5\,V \Rightarrow \boxed{Q_2 = 7{,}5\,\mu C}$$

Respostas: a) 20 μC e 20 μC; b) 30 μC e 7,5 μC, respectivamente.

36.

$$E = \frac{Q^2}{2\,C_X}$$

C_x Q E R $C_y = 2\,C_x$

⇓

$$Q_X = C_X\,U$$

$$Q_y = C_y\,U = 2\,C_x\,U = 2Q_x$$

$$Q_x + Q_y = Q_x + 2Q_x = Q$$

$$Q_X = \frac{Q}{3} \text{ e } Q_y = \frac{2Q}{3}$$

$$E_x = \frac{{Q_X}^2}{2C_X} = \frac{\frac{Q^2}{9}}{2C_X} = \frac{E}{9}$$

$$E_y = \frac{{Q_y}^2}{2C_y} = \frac{\frac{4Q^2}{9}}{2 \cdot 2C_X} = \frac{2\,E}{9}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_x + E_y = \frac{3E}{9} = \frac{E}{3}}$$

Resposta: c

37.

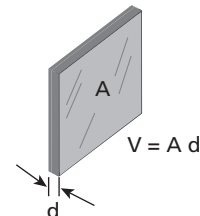
A energia armazenada é dada por:

$$E = \frac{C\,U^2}{2}$$

Sendo $C = \frac{\epsilon_0\,A}{d}$ e $U = E\,d = \frac{\sigma\,d}{\epsilon_0}$, temos:

$$E = \frac{\frac{\epsilon_0\,A}{d} \cdot \frac{\sigma^2\,d^2}{{\epsilon_0}^2}}{2} = \frac{\sigma^2\,A\,d}{2\,\epsilon_0} \Rightarrow \boxed{E = \frac{\sigma^2\,V}{2\,\epsilon_0}}$$

Resposta: $\frac{\sigma^2\,V}{2\,\epsilon_0}$

38.

Tratando essa parede como um capacitor plano, temos:

- $|\sigma| = \frac{Q}{A} \Rightarrow Q = |\sigma|\,A$ (I)
- $E = \frac{|\sigma|}{\epsilon} = \frac{U}{d} \Rightarrow U = \frac{|\sigma|\,d}{\epsilon}$ (II)

- $E_p = \frac{QU}{2} = \frac{(|\sigma|\ A) \cdot (|\sigma|\ d)}{2\,\epsilon} = \frac{|\sigma|^2\ V}{2\ k\ \epsilon_0}$

$$E_p = \frac{(0{,}50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (4{,}0 \cdot 10^{-16})}{2 \cdot 5{,}0 \cdot 9{,}0 \cdot 10^{-12}} \Rightarrow E_p = \frac{1}{9} \cdot 10^{-17}\ J$$

$$\begin{cases} 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J \rightarrow 1\ eV \\ \frac{1}{9} \cdot 10^{-17}\ J \rightarrow E_P \end{cases} \Rightarrow \boxed{E_P \cong 7{,}0\ eV}$$

Resposta: c

39.

Ao ser ligado à Terra, **B** adquire, por indução total, uma carga $-Q$.
Assim:

$$\nu_A = \frac{K\,Q}{R_A} + \frac{K\,(-Q)}{R_B}$$

Mas $Q = C\,U \Rightarrow Q = C\,(\nu_A - \nu_B)$, em que $\nu_B = 0$.

Então:

$$Q = C\,\nu_A \Rightarrow Q = C\left(\frac{K\,Q}{R_A} - \frac{K\,Q}{R_B}\right)$$

$$1 = C\,K\left(\frac{R_B - R_A}{R_A\,R_B}\right) \Rightarrow C = \frac{1}{K} \cdot \frac{R_A\,R_B}{R_B - R_A}$$

$$K = \frac{1}{4\,\pi\,\epsilon} \Rightarrow \frac{1}{K} = 4\,\pi\,\epsilon$$

$$C = \frac{4\,\pi\,\epsilon\,R_A\,R_B}{R_B - R_A}$$

Resposta: Veja a demonstração.

40.

Sendo **h** muito menor que o raio **R** da Terra, podemos considerar esse "capacitor gigante" como sendo a associação em paralelo de muitos capacitores planos elementares cada um com área **a** e capacitância $C = \frac{\epsilon_0\ a}{h}$.

Sendo $A = 4\,\pi\,R^2$ a área total, temos:

- $C_{total} = \Sigma C = \frac{\epsilon_0\ A}{h} = \frac{\frac{1}{4\,\pi \cdot 9{,}0 \cdot 10^9} \cdot 4\,\pi\,(6{,}4 \cdot 10^6)^2}{60 \cdot 10^3}$

$$\boxed{C_{total} = 7{,}6 \cdot 10^{-2}\ F}$$

- $E_P = \frac{C_{total} U^2}{2} = \frac{C_{total}(Eh)^2}{2} = \frac{(7{,}6 \cdot 10^{-2}) \cdot (100^2) \cdot (60 \cdot 10^3)^2}{2}$

$$\boxed{E_P = 1{,}4 \cdot 10^{12}\ J}$$

Resposta: $7{,}6 \cdot 10^{-2}$ F e $1{,}4 \cdot 10^{12}$ J, respectivamente.

41.

As placas **P** e **Q** constituem um capacitor plano de capacidade **C**, dada por:

$$C = \frac{\epsilon\,A}{d}$$

Quando esse capacitor é eletrizado sob ddp igual a **U**, sua carga vale:

$$q = C\,U = \frac{\epsilon\,A\,U}{d}$$

O campo elétrico entre as placas tem intensidade **E**, dada por:

$$E = \frac{U}{d}$$

Metade dessa intensidade é devida a uma placa e a outra metade é devida à outra placa $\left(E = \frac{E}{2} + \frac{E}{2}\right)$ e cada placa submete-se apenas ao campo criado pela outra. Assim, a placa **P** é atraída pela placa **Q** por uma força de intensidade **F**, dada por:

$$F = q\,\frac{E}{2} = \frac{\epsilon\,A\,U}{d} \cdot \frac{\frac{U}{d}}{2}$$

$$\boxed{F = \frac{\epsilon\,A\,U^2}{2d^2}}$$

Resposta: $\frac{\epsilon\,A\,U^2}{2d^2}$

42.

a) $Q = C\,U \Rightarrow Q = 5 \cdot 36 \Rightarrow Q = 180\ \mu C$

b) Inicialmente, calculemos a corrente elétrica no circuito, lembrando que, após o processo de carga do capacitor, não há corrente no ramo em que ele se encontra. Os condutores **AB** e **CD** têm 150 Ω de resistência cada um. Assim:

$$\varepsilon = R_{eq}\,i \Rightarrow 36 = 300\,i \Rightarrow i = 0{,}12\ A$$

$$U_{XY} = \varepsilon - (R_{AX} + R_{CY})\ i =$$

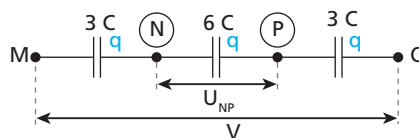
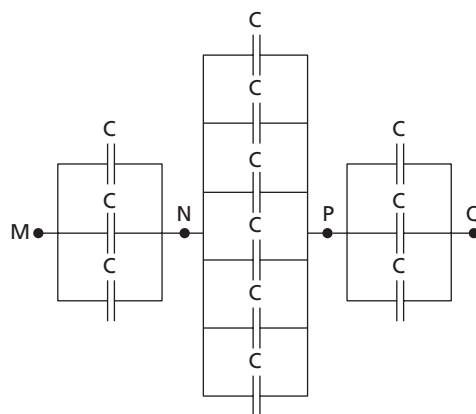
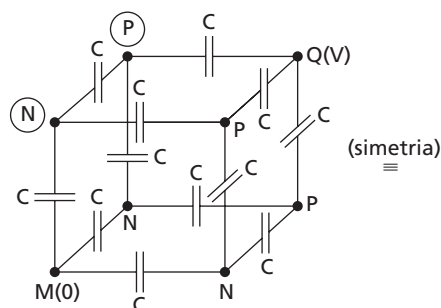
$$= 36 - (1{,}5\,\ell + 1{,}5\,\ell)\,0{,}12$$

$$U_{XY} = 36 - 0{,}36\,\ell$$

$$Q = C\,U_{XY} \Rightarrow Q = 5\,(36 - 0{,}36\,\ell)$$

$$Q = 180 - 1{,}8\,\ell$$

Respostas: a) 180 μC; b) $Q = 180 - 1{,}8\ell$, com ℓ em metros e **Q** em microcoulombs

43.

De $U = \dfrac{Q}{C}$: $\underbrace{\dfrac{q}{3\,C}}_{2\,u} + \underbrace{\dfrac{q}{6\,C}}_{u} + \underbrace{\dfrac{q}{3\,C}}_{2\,u} = V$

$$2\,u + u + 2\,u = V \Rightarrow u = \frac{V}{5}$$

Portanto: $\boxed{U_{NP} = \dfrac{V}{5}}$ (em módulo)

Resposta: d

44.

As duas metades desse capacitor podem ser consideradas dois capacitores associados em paralelo. Então:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0\ k_1 \frac{A}{2}}{d} + \frac{\epsilon_0\ k_2 \frac{A}{2}}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0\ A}{2\ d}\ (k_1 + k_2)$$

Resposta: Veja a demonstração.

45.

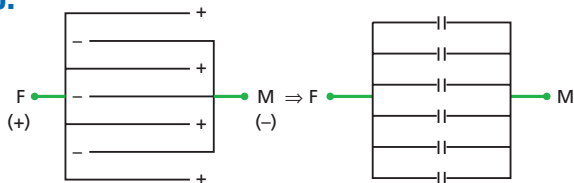
- Na configuração inicial: $C_i = \dfrac{\epsilon_0\ A}{d}$
- A configuração final é equivalente à associação de dois capacitores em série:

$$C_f = \frac{C_{ar}\ C_{vidro}}{C_{ar} + C_{vidro}} = \frac{\dfrac{\epsilon_0\ A}{\frac{d}{2}} \cdot \dfrac{k\ \epsilon_0\ A}{\frac{d}{2}}}{\dfrac{\epsilon_0\ A}{\frac{d}{2}} + \dfrac{k\ \epsilon_0\ A}{\frac{d}{2}}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_f = \frac{2\,k\ \epsilon_0\ A}{(k + 1)\,d}$$

- $\dfrac{Q_f}{Q_i} = \dfrac{C_f\ U}{C_i\ U} = \dfrac{C_f}{C_i} \Rightarrow \boxed{\dfrac{Q_f}{Q_i} = \dfrac{2\,k}{k + 1}}$

Resposta: $\dfrac{2\,k}{k + 1}$

46.

Com **n** placas, temos uma associação de (n – 1) capacitores planos de área **A**, em paralelo, cada um deles com capacitância igual a $\dfrac{\epsilon_0\ A}{d}$.

Então, a capacitância do sistema é dada por:

$$\boxed{C = (n - 1)\,\frac{\epsilon_0\ A}{d}}$$

Resposta: $(n - 1)\,\dfrac{\epsilon_0\ A}{d}$

47.

Para que C_5 possa ser eliminado, devemos ter: $\nu_C = \nu_D$.

Assim, C_1 e C_2 estarão em série, cada um com carga **Q**, e C_4 e C_3 também estarão em série, cada um com carga **Q'**.

$$\left.\begin{array}{l} \nu_A - \nu_C = \dfrac{Q}{C_1} \\ \nu_A - \nu_D = \nu_A - \nu_C = \dfrac{Q'}{C_4} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{Q}{C_1} = \frac{Q'}{C_4} \Rightarrow C_1\,Q' = C_4\,Q \quad \text{(I)}$$

$$\left.\begin{array}{l} \nu_C - \nu_B = \dfrac{Q}{C_2} \\ \nu_D - \nu_B = \nu_C - \nu_B = \dfrac{Q'}{C_3} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{Q}{C_2} = \frac{Q'}{C_3} \Rightarrow C_2\,Q' = C_3\,Q \quad \text{(II)}$$

Dividindo (**I**) por (**II**): $\dfrac{C_1}{C_2} = \dfrac{C_4}{C_3} \Rightarrow \boxed{C_1\,C_3 = C_2\,C_4}$

Resposta: Veja a demonstração.

48.

a) $Q_0 = Q_{máx} = C\ V$ pois, quando **t** tende a infinito, $e^{\frac{-t}{RC}}$ tende a zero

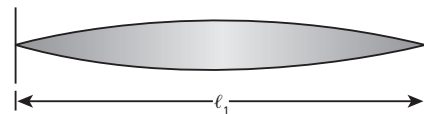
- $$\left.\begin{array}{l} \dfrac{Q_0}{2} = Q_0\left(1 - e^{\frac{-t_1}{RC}}\right) \Rightarrow e^{\frac{-t_1}{RC}} = \dfrac{1}{2} \\ \dfrac{Q_0}{2} = Q_0\ e^{\frac{-t_2}{RC}} \Rightarrow e^{\frac{-t_2}{RC}} = \dfrac{1}{2} \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{t_1 = t_2}$$

b)
- No instante imediatamente após o fechamento da chave Ch-A.
- $V = U_R + U_C \Rightarrow 20 = 50 \cdot 0{,}1 + U_C \Rightarrow U_C = 15\ V$

  $Q = C\ U_C = 5 \cdot 15 \Rightarrow \boxed{Q = 75\ \mu C}$

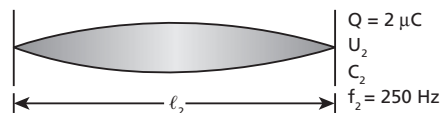
c) $E_{p_{máx}} = \dfrac{C\ V^2}{2} = \dfrac{5 \cdot 20^2}{2} \Rightarrow \boxed{E_{p_{máx}} = 1000\ \mu J = 1\ mJ}$

Respostas: a) Os tempos são iguais; b) Imediatamente após o fechamento da chave Ch – A; 75 μC; c) 1 mJ

49.

$C_1 = 0{,}08\ \mu F$

$Q = 2\ \mu C$

$U_1 = \dfrac{Q}{C_1} = \dfrac{2}{0{,}08} = \Rightarrow U_1 = 25\ V$

$f_1 = 100\ Hz$

Como $f = \dfrac{Nv}{2\,L}$ e $N = 1$, temos:

$$\left.\begin{array}{l} f_1 = \dfrac{V}{2\,\ell_1} = 100 \\ f_2 = \dfrac{V}{2\,\ell_2} = 250 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{2}{5}$$

Como $C = \dfrac{\epsilon A}{d}$ e $Q = CU$, temos:

$$\left.\begin{array}{l} Q = \dfrac{\epsilon A}{\ell_1}\ U_1 \\ Q = \dfrac{\epsilon\ A}{\ell_2}\ U_2 \end{array}\right\} \frac{U_1}{\ell_1} = \frac{U_2}{\ell_2} \Rightarrow U_2 = U_1\ \frac{\ell_2}{\ell_1}$$

$U_2 = 25\ \dfrac{2}{5} \Rightarrow \boxed{U_2 = 10\ V}$

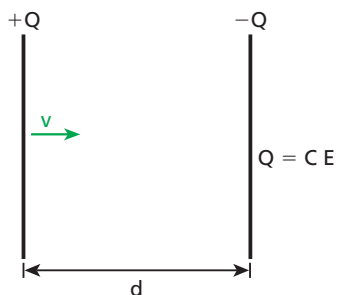
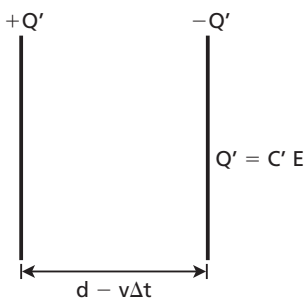
Resposta: 10 V

50.

Sejam **Q** e **C** a carga e a capacitância do capacitor constituído pelas duas placas, no instante correspondente à situação da figura.

A aproximação entre P_1 e P_2 acarreta aumento da capacitância e, como a ddp entre as placas permanece igual a ε, a carga armazenada também aumenta.

Sejam Q' e C' a carga e a capacitância após pequeno intervalo de tempo Δt.

Situação da figura dada:

Situação após Δt:

O módulo da carga que passou por uma seção transversal dos fios de ligação durante Δt é ΔQ, dado por:

$$\Delta Q = Q' - Q = C'\varepsilon - C\varepsilon = \frac{\epsilon_0 A}{d - v\Delta t}\varepsilon - \frac{\epsilon_0 A}{d}\varepsilon =$$

$$= \epsilon_0 A\varepsilon\left(\frac{1}{d - v\Delta t} - \frac{1}{d}\right)$$

$$\Delta Q = \frac{\epsilon_0 A\varepsilon}{d}\left(\frac{v\Delta t}{d - v\Delta t}\right)$$

$$i_{média} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\epsilon_0 A\varepsilon v}{d(d - v\Delta t)}$$

$$i = \lim_{\Delta t \to 0} i_m \Rightarrow \boxed{i = \frac{\epsilon_0 A\varepsilon v}{d^2}}$$

Resposta: $\frac{\epsilon_0 A\varepsilon v}{d^2}$

51.

$U_{AB} = \varepsilon - r\,i = 12 - 5\,I$

$U_{AB} = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{10^{-2}} = 100\,Q$

$U_{AB} = R\,i = 10\,I'$

(1ª e 2ª) $\Rightarrow 12 - 5\,I = 100\,Q \Rightarrow$
$\Rightarrow \boxed{I = 2{,}4 - 20\,Q}$

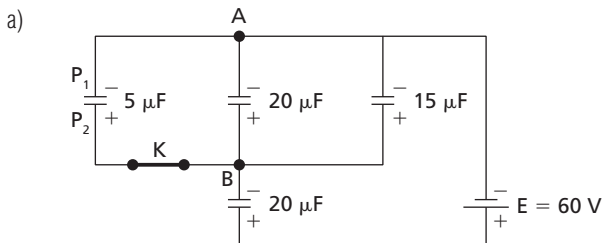
(2ª e 3ª) $\Rightarrow 10\,I' = 100\,Q \Rightarrow$
$\Rightarrow \boxed{I' = 10\,Q}$

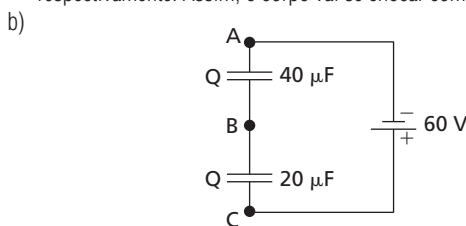
- $I_C = I - I' = (2{,}4 - 20\,Q) - 10\,Q$
- $\boxed{I_C = 2{,}4 - 30\,Q}$ $\Rightarrow$ Gráfico (c) $\Rightarrow$ 01 correta.
- $\boxed{I' = 10\,Q, \text{ com } Q_{máx} = 80\text{ mC}}$ $\Rightarrow$ Gráfico (e) $\Rightarrow$ 02 incorreta. e 04 correta.
- $\boxed{U_{AB} = 100\,Q}$ $\Rightarrow$ 16 incorreta.
- $\boxed{I = 2{,}4 - 20\,Q}$ $\Rightarrow$ Gráfico (b) $\Rightarrow$ 64 correta.

Resposta: 69

52.

Em 0,6 s, o corpo cai h_1: $h_1 = \frac{g \cdot t^2}{2} = \frac{10 \cdot 0{,}6^2}{2} \Rightarrow h_1 = 1{,}8$ m

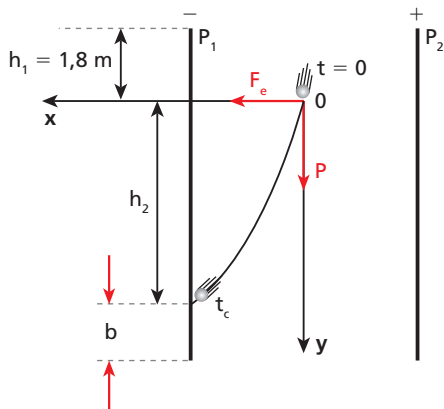
a)

As placas P_1 e P_2 ficarão eletrizadas com carga negativa e positiva, respectivamente. Assim, o corpo vai se chocar com a placa P_1.

b)

$U_{CB} + U_{BA} = 60$

$U = \frac{Q}{C} \Rightarrow U_{CB} = 2\,U_{BA}$

$\Rightarrow U_{BA} = 20$ V

- $E\,d = U_{BA} \Rightarrow E \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 20 \Rightarrow E = 5 \cdot 10^2$ N/C

  $F_e = q\,E = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^2 \Rightarrow F_e = 2 \cdot 10^{-3}$ N

- $a_y = g = 10$ m/s²
- $a_x = \frac{F_e}{m} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow a_x = 1$ m/s²
- $x = \frac{a_x\,t^2}{2} \Rightarrow 2 \cdot 10^{-2} = \frac{1\,t_c^{\,2}}{2} \Rightarrow t_c = 0{,}2$ s
- $v_{0_y} = g\,t = 10 \cdot 0{,}6 \Rightarrow v_{0_y} = 6$ m/s

  $y = v_{0_y}\,t + \frac{a_y\,t^2}{2} \Rightarrow h_2 = v_{0_y}\,t_c + \frac{a_y\,t_c^{\,2}}{2} \Rightarrow$

  $\Rightarrow h_2 = 6 \cdot 0{,}2 + \frac{10 \cdot 0{,}2^2}{2} \Rightarrow h_2 = 1{,}4$ m
- $b = 4\text{ m} - h_1 - h_2 = 4\text{ m} - 1{,}8\text{ m} - 1{,}4\text{ m} \Rightarrow \boxed{b = 0{,}8\text{ m}}$

Respostas: a) P_1; b) 0,8 m

Unidade III – ELETROMAGNETISMO

Tópico 1 – O campo magnético e sua influência sobre cargas elétricas

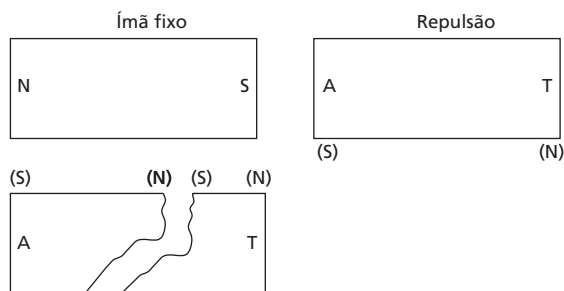
Página 232

1.
Dos objetos listados, só são ferromagnéticos a corda de guitarra e a chave de fenda comum. Embora muito menos intensamente que esses dois, a grafite também apresenta um comportamento ferromagnético.
Resposta: VI, VII e VIII.

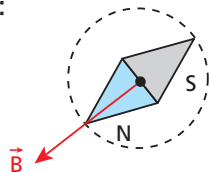
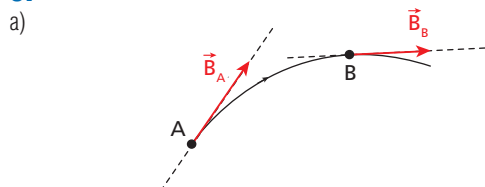
2.
Como não foi identificado o polo magnético do ímã na região **B**, podendo ser norte ou sul, temos duas possibilidades:

Resposta:

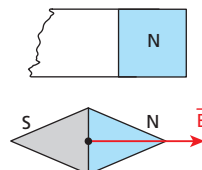
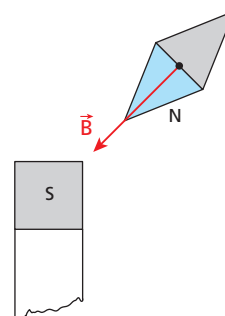
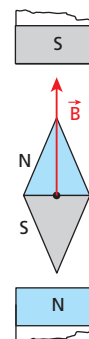
3.
É importante destacar que os polos magnéticos de um ímã nada têm a ver com processos de eletrização e que a origem desses polos será estudada no Tópico 2.
Resposta: e

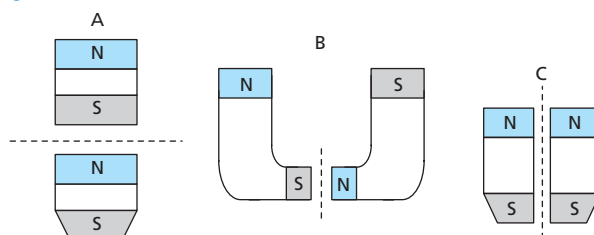
4.

Lembrando que polos magnéticos de mesmo nome se repelem e polos magnéticos de nomes diferentes se atraem, concluímos que a alternativa correta é a **a**.
Resposta: a

5.
A agulha alinha-se com $\vec{B}$ e seu polo norte magnético aponta no sentido de $\vec{B}$.
Resposta:

6.
a)

b) Em **A**, porque nessa região as linhas de indução estão mais concentradas.

Resposta: a) Veja a figura na resolução; b) E em **A**, porque nessa região as linhas de indução estão mais concentradas.

7.
a) Polo norte magnético:

b) Polo sul magnético:

c) Polo norte magnético:

Respostas: a) Norte magnético; b) Sul magnético; c) Norte magnético

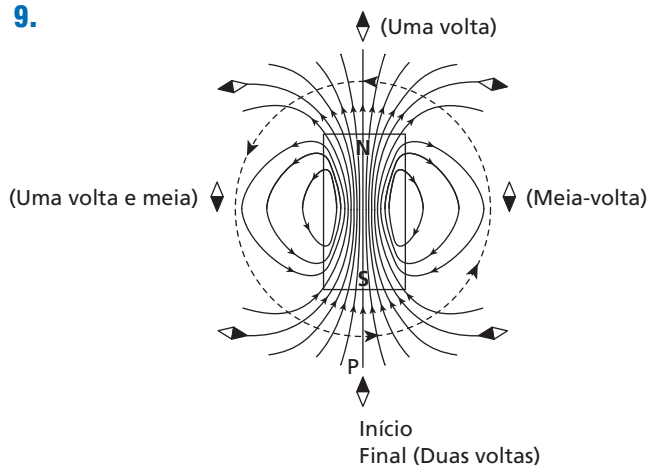
8.

As partes podem se unir magneticamente porque elas se atraem.

As partes podem se unir magneticamente porque elas se atraem.

As partes **não** podem se unir magneticamente porque elas se repelem.

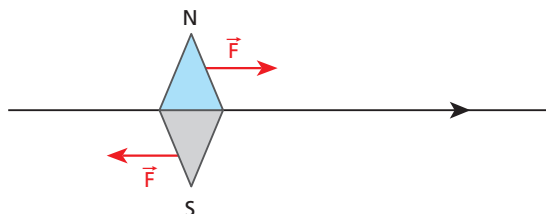
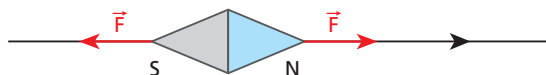
Resposta: Caso **C**

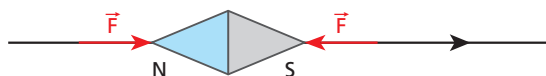
9.

(Uma volta)
(Uma volta e meia)
(Meia-volta)
Início
Final (Duas voltas)

Resposta: d

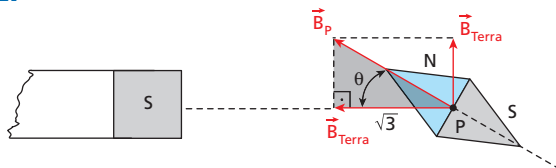
10.

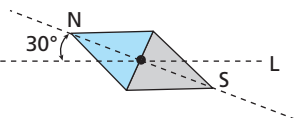
I. Correta porque, externamente a um ímã, as linhas de indução orientam-se do polo norte magnético para o polo sul magnético.

II. Incorreta porque, na situação **A**, a agulha não está em equilíbrio:

III. Correta:

Se girarmos ligeiramente a agulha e a soltarmos, sua tendência será voltar à posição de equilíbrio.

IV. Correta:

Se girarmos ligeiramente a agulha e a soltarmos, sua tendência será afastar-se ainda mais da posição de equilíbrio em que estava, buscando a posição de equilíbrio estável (situação **B**).

Resposta: I, III e IV

12.

$$\text{tg}\ \theta = \frac{B_{Terra}}{B_{Terra}\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow \theta = 30°$$

Resposta:

13.

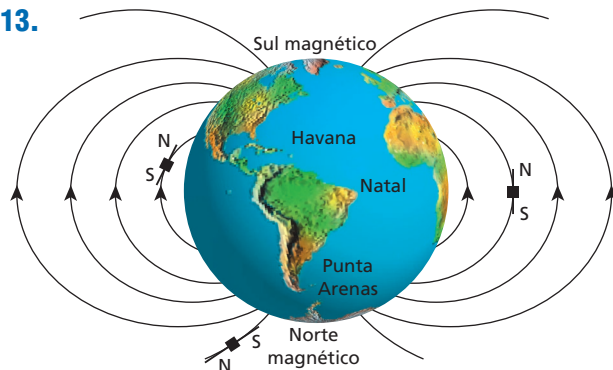



Ilustração com tamanho e distância fora de escala.

Resposta: d

Página 238

15.

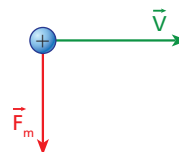
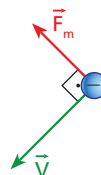
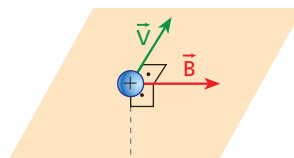
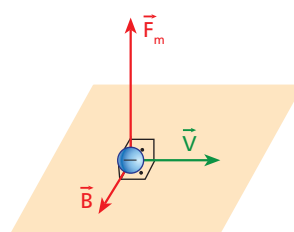
Para que uma partícula subatômica, situada em um campo magnético, se submeta a uma força magnética, é preciso que essa partícula seja um portador de carga elétrica e que esteja em movimento em uma direção diferente da do vetor $\vec{B}$, o que só poderá ocorrer na situação I.

Resposta: Apenas na situação I.

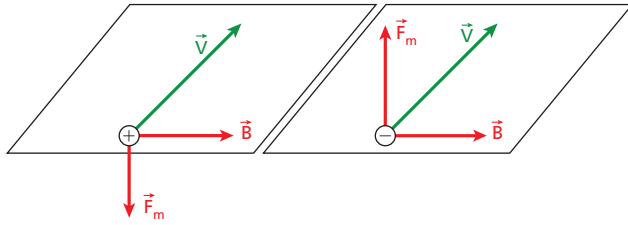
16.

Resposta: O campo magnético do ímã altera a direção do movimento dos elétrons, que passam a bombardear a tela em outras posições.

18.

a)

b)

c)

d)

Respostas: Veja figuras da resolução.

19.

Na região entre os polos, o vetor indução magnética está orientado do polo norte para o polo sul. Portanto:

Respostas: a) Região I; b) Região II

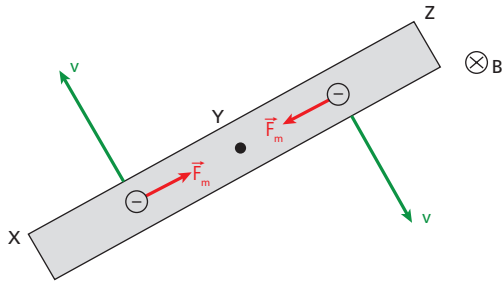
20.

a) $F_m = |q| \, v \, B \, \text{sen}\, \theta = (8 \cdot 10^{-18}) \cdot (5 \cdot 10^{3}) \cdot (2) \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow$

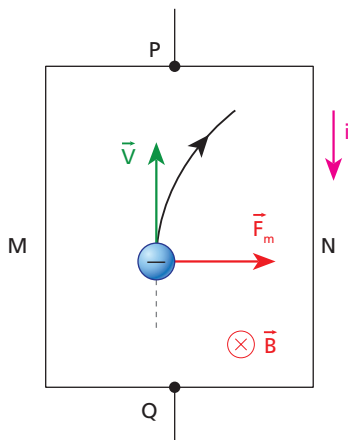
$\Rightarrow \boxed{F_m = 4 \cdot 10^{-15}\ \text{N}}$

b) $F_m = (4 \cdot 10^{-5}) \cdot (3 \cdot 10^{5}) \cdot (1) \cdot (1) \Rightarrow \boxed{F_m = 12\ \text{N}}$

Respostas: a) $4 \cdot 10^{-15}$ N; b) 12 N

21.

Observemos que haverá acúmulo de elétrons livres na região central do bastão e consequente falta deles nas extremidades.

Resposta: Positivo, negativo e positivo.

22.

Resposta: a

23.

Supondo que as partículas se submetem exclusivamente aos campos citados, temos:

A: campo elétrico

Como a partícula está em movimento retardado, submete-se a uma força elétrica $\vec{F}_e$ oposta à sua velocidade e, portanto, oposta ao vetor $\vec{E}$. Assim, **q** é negativa.

B: campo magnético

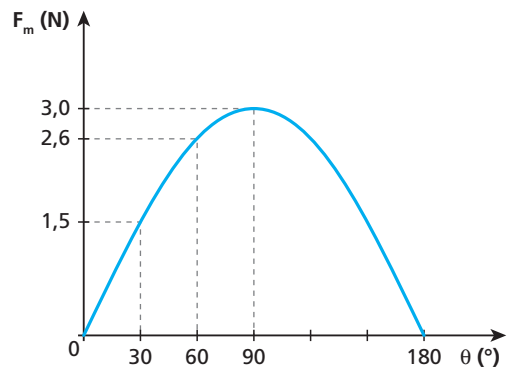
Resposta: O campo **B** é magnético, **A** é elétrico e a carga é negativa.

24.

$F_m = |q| \, v \, B \, \text{sen}\, \theta$

$F_m = (2{,}0 \cdot 10^{-6}) \cdot (5{,}0 \cdot 10^{6}) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{-1}) \, \text{sen}\, \theta$

$F_m = 3{,}0 \, \text{sen}\, \theta$ (SI)

- $\theta = 0° \Rightarrow \text{sen}\, \theta = 0 \Rightarrow F_m = 0$
- $\theta = 30° \Rightarrow \text{sen}\, \theta = \frac{1}{2} \Rightarrow F_m = 1{,}5$ N
- $\theta = 60° \Rightarrow \text{sen}\, \theta = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow F_m = 2{,}6$ N
- $\theta = 90° \Rightarrow \text{sen}\, \theta = 1 \Rightarrow F_m = 3{,}0$ N
- $\theta = 180° \Rightarrow \text{sen}\, \theta = 0 \Rightarrow F_m = 0$

Resposta:

Página 243

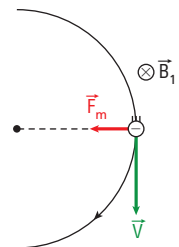
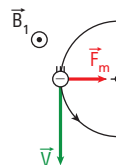
26.

$R = \frac{m\,v}{|q|\,B} \Rightarrow B = \frac{m\,v}{|q|\,R} = \frac{(1 \cdot 10^{-8}) \cdot (1 \cdot 10^{6})}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{B = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{T}}$

Resposta: $5 \cdot 10^{-3}$ T

27.

a)

b) $R = \frac{m\,v}{|q|\,B}$ (m, v e |q| constantes)

R menor $\Rightarrow$ B maior $\Rightarrow$ $\boxed{\vec{B}_1 \text{ é mais intenso}}$

c) Cada Δt mencionado é a metade de um período:

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{\frac{2\pi m}{|q|\,B}}{2} \Rightarrow \Delta t = \frac{\pi m}{|q|\,B}$$

Como m e |q| são constantes e B_1 é maior que B_2, temos:

$$\boxed{\Delta t_{ST} < \Delta t_{MN}}$$

Respostas: a) $\vec{B}_1$, "saindo"; $\vec{B}_2$, "entrando"; b) $\vec{B}_1$; c) $\Delta t_{ST} < \Delta t_{MN}$

28.

$F_m = |q|\, v\, B \operatorname{sen} \theta \Rightarrow F_m = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{3} \cdot 2{,}0 \cdot 1$

$$\boxed{F_m = 6{,}4 \cdot 10^{-16}\ \text{N}}$$

$F_g = m\,g = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \cdot 10 \Rightarrow \boxed{F_g = 9{,}1 \cdot 10^{-30}\ \text{N}}$

É importante o estudante perceber que, nessa situação, a força gravitacional é desprezível em comparação com a magnética.

Resposta: $6{,}4 \cdot 10^{-16}$ N e $9{,}1 \cdot 10^{-30}$ N, respectivamente. A força magnética é $7{,}0 \cdot 10^{13}$ vezes mais intensa que a força gravitacional.

29.

- Como o elétron, dentre as três partículas, é a única com carga negativa, sua trajetória só pode ser a **C**.
- $q_{\text{próton}} = q_{\text{dêuteron}}$
  $m_{\text{dêuteron}} = 2\, m_{\text{próton}}$
- $R = \dfrac{m v_0}{|q|\, B} \Rightarrow R_{\text{dêuteron}} = 2\, R_{\text{próton}}$

Portanto, a trajetória **B** é a do dêuteron e a **A** é a do próton.

Resposta: A, **B** e **C**

30.

a) $\dfrac{m\,v^2}{R} = |q|\,vB \Rightarrow v = \dfrac{|q|\,B\,R}{m}$

$$v = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}0 \cdot 0{,}10}{3{,}4 \cdot 10^{-27}}$$

$$\boxed{v = 9{,}4 \cdot 10^{6}\ \text{m/s}}$$

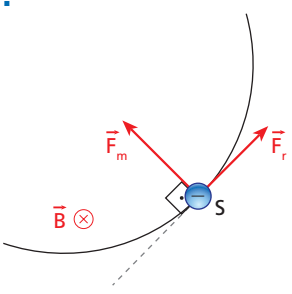
b) $T = \dfrac{2\pi m}{|q|\,B}$

$$\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{|q|\,B} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}4 \cdot 10^{-27}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}0}$$

$$\boxed{\Delta t = 3{,}3 \cdot 10^{-8}\ \text{s}}$$

Respostas: a) $9{,}4 \cdot 10^{6}$ m/s; b) $3{,}3 \cdot 10^{-8}$ s

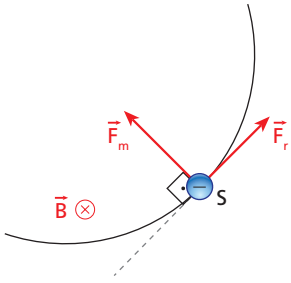
31.

1.

$\vec{F}_m$: força magnética
$\vec{F}_r$: força resistente

Para a trajetória ser plana, a força magnética precisa estar no plano da trajetória. A força $\vec{F}_r$, obviamente, já está.

2. Como $\vec{F}_m$ está contida na região sombreada, o campo magnético tem direção perpendicular a essa região. Para $\vec{F}_m$ ter o sentido indicado em 1, o sentido do campo magnético tem que ser entrando na região sombreada, já que a carga elétrica do elétron é negativa.

Resposta:

1.

$\vec{F}_m$: força magnética

$\vec{F}_r$: força resistente

2. Perpendicular à região sombreada, entrando nela.

33.

a) Nenhuma força atua em **X**. Por isso, essa partícula prossegue em MRU. A partícula **Y** realiza um MCU e sua velocidade se inverte após um intervalo de tempo igual a meio período:

$$\boxed{\Delta t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{q\,B}}$$

b) Os módulos das velocidades de **X** e **Y** não se alteram.
Portanto:

$$\boxed{\Delta E_C = 0}$$

Respostas: a) $\Delta t = \dfrac{\pi m}{q\,B}$; b) Zero

34.

- No seletor de velocidade:

$$F_e = F_m \Rightarrow e\,E = e\,v\,B \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$

- No movimento circular e uniforme:

$$R = \frac{m\,v}{e\,B} = \frac{m\,E}{e\,B^2} \Rightarrow m = \frac{e\,B^2\,R}{E}$$

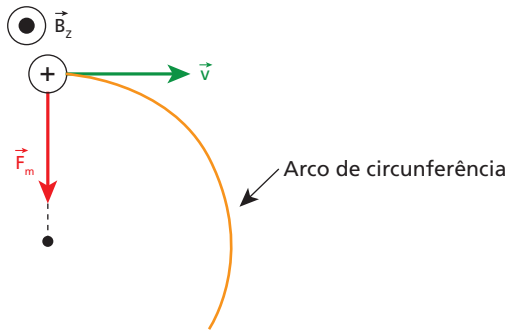
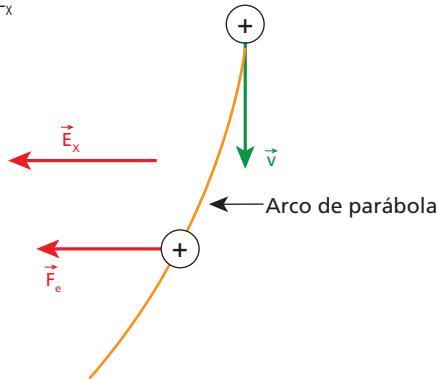
$$m = \frac{(1{,}6 \cdot 10^{-19})(2{,}0 \cdot 10^{-1})^2 \cdot (2{,}0 \cdot 10^{-2})}{4{,}0 \cdot 10^{3}}$$

$$\boxed{m = 3{,}2 \cdot 10^{-26}\ \text{kg}}$$

Resposta: $3{,}2 \cdot 10^{-26}$ kg

35.

Região I: Movimento retilíneo e acelerado na direção e no sentido de $x \Rightarrow +E_x$

Região II: MCU $\Rightarrow$ B_Z

Região III: composição de MU na direção de **y** com MUV na direção de **x** $\Rightarrow$ $-E_x$

Resposta: e

36.

- $E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{\Delta V}{L} = \dfrac{4{,}0 \cdot 10^{-7}}{2{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{E = 2{,}0 \cdot 10^{-5}\ \text{V/m}}$
- Em cada portador de carga **q**, a força elétrica, $\vec{F}_e$, equilibra a força magnética, $\vec{F}_m$:

$$F_m = F_e \Rightarrow |q|\,v\,B = |q|\,E \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-5}}{0{,}80}$$

$$\boxed{v = 2{,}5 \cdot 10^{-5}\ \text{m/s}}$$

Resposta: $2{,}0 \cdot 10^{-5}$ V/m; $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ m/s

37.

Em **O**, deve prevalecer o campo magnético do ímã, o que faz θ ser aproximadamente igual a 90°. Em pontos muito afastados de **O**, o campo do ímã torna-se desprezível, prevalecendo, então, o campo magnético terrestre, o que torna θ praticamente igual a zero.

Resposta: c

38.

$$\tau_{F_e} = E_c \Rightarrow q\,U = \frac{m\,v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2\,q\,U}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2\,000}{1{,}6 \cdot 10^{-26}}} \Rightarrow v = 2 \cdot 10^{5}\ \text{m/s}$$

$$R = \frac{m\,v}{|q|\,B} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-26} \cdot 2 \cdot 10^{5}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}5}$$

$R = 40$ mm

Resposta: 40 mm

39.

a) $E_{P_B} + E_{C_B} + E_{P_A} + E_{C_A}$

$$q\,\nu_B + \frac{m\,v^2}{2} = q\,\nu_A + 0$$

$$v = \sqrt{\frac{2\,q\,(\nu_A - \nu_B)}{m}}$$

Como $\nu_B < \nu_A$: $q > 0$

Então: $v = \sqrt{\dfrac{2\,q\,U}{m}}$

b) $R_{cp} = F_m \Rightarrow \dfrac{m\,v^2}{R} = q\,v\,B$

$$m = \frac{q\,B\,R}{v} = q\,B\,R\sqrt{\frac{m}{2\,q\,U}}$$

$$m^2 = q^2\,B^2\,R^2\,\frac{m}{2\,q\,U} \Rightarrow m = \frac{q\,B^2\,R^2}{2\,U}$$

c) 1º pico:

$$m_1 = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \frac{2}{100}\ (10 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 10\,000}$$

$m_1 = 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg

$\therefore m_1 = 1$ **u** (hidrogênio)

2º pico:

$$m_2 = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \frac{4}{100}\ (10 \cdot 10^{-2})^2}{2 \cdot 10\,000}$$

$m_2 = 3{,}2 \cdot 10^{-27}$ kg

$\therefore m_2 = 2$ **u** (deutério: um isótopo do hidrogênio)

Respostas: a) $v = \sqrt{\dfrac{2\,q\,U}{m}}$; b) $m = \dfrac{q\,B^2\,R^2}{2U}$;

c) 1º pico: 1 u (hidrogênio);
2º pico: 2 u (deutério)

40.

a) Como a força magnética que atuou na partícula não realizou trabalho:

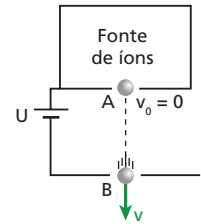
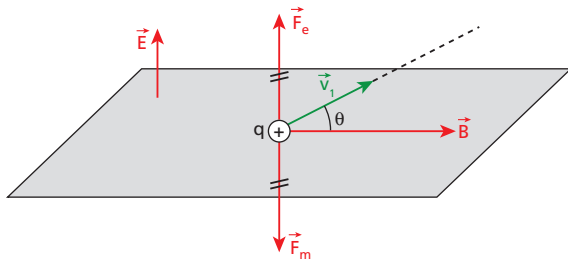
$$v' = v \Rightarrow \boxed{\frac{v'}{v} = 1}$$

b) $\dfrac{m\,v^2}{R} = q\,v\,B \Rightarrow v = \dfrac{q\,B\,R}{m}$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{q\,B\,R}{m}$$

Em radiano: $\theta = \dfrac{\Delta s}{R} \Rightarrow \Delta s = R\,\theta$

Então: $\dfrac{R\,\theta}{\Delta t} = \dfrac{q\,B\,R}{m} \Rightarrow \boxed{\Delta t = \dfrac{m\,\theta}{q\,B}}$

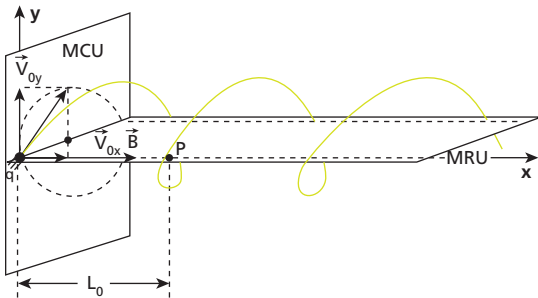
Respostas: a) 1; b) $\Delta t = \dfrac{m\,\theta}{q\,B}$, com θ em rad

41.

$F_e = F_m \Rightarrow |q|\,E = |q|\,v\,B\,\text{sen}\,\theta$

$v = \dfrac{E}{B\,\text{sen}\,\theta} \Rightarrow v = \dfrac{2 \cdot 10^5}{0{,}1\,\text{sen}\,\theta}$

$$\boxed{v = \dfrac{2 \cdot 10^6}{\text{sen}\,\theta}\ \text{m/s}}$$

Resposta: $v = \dfrac{2 \cdot 10^6}{\text{sen}\,\theta}$ m/s

42.

$M \cong 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg

$Q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

$v_{0_x} = 4{,}0 \cdot 10^6$ m/s

$v_{0_y} = 3{,}0 \cdot 10^6$ m/s

$L_0 = 12$ m $\quad \pi \cong 3$

a) Na direção do eixo **x**, o movimento é uniforme, com velocidade V_{0_x}:

$$v_{0_x} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow v_{0_x} = \frac{L_0}{\Delta t} \Rightarrow 4{,}0 \cdot 10^6 = \frac{12}{\Delta t}$$

$$\boxed{\Delta t = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ \text{s}}$$

b) No MCU:

- $T = 3{,}0 \cdot 10^{-6}$ s (período)
- $v_{0_y} = \omega\,R = \dfrac{2\,\pi}{T} \cdot R$

$$R = \frac{v_{0_y}\,T}{2\,\pi} = \frac{3{,}0 \cdot 10^6 \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3} \Rightarrow \boxed{R = 1{,}5\ \text{m}}$$

c) No MCU:

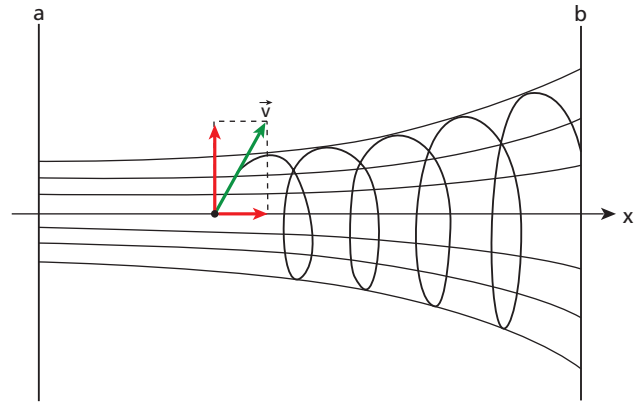
$$R = \frac{M\,v_{0_y}}{Q\,B} \Rightarrow B = \frac{M\,v_{0_y}}{Q\,R}$$

$$B = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-27} \cdot 3{,}0 \cdot 10^6}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 1{,}5} \Rightarrow \boxed{B = 2{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{T}}$$

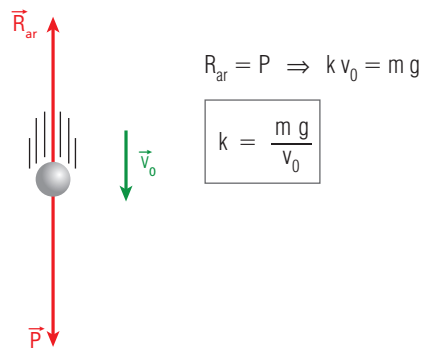
Respostas: a) $3{,}0 \cdot 10^{-6}$ s; b) 1,5 m; c) $2{,}0 \cdot 10^{-2}$ T

43.

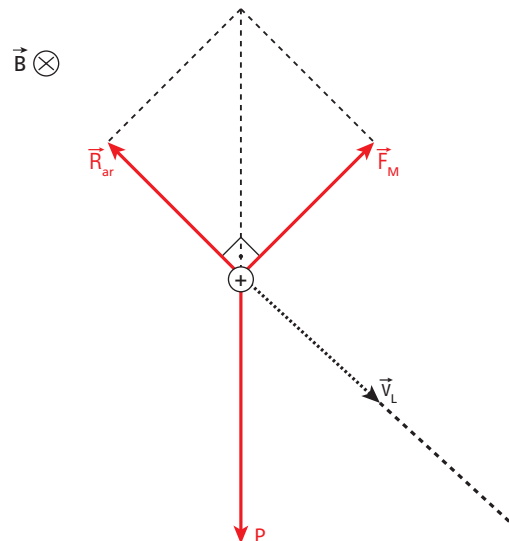
Se o campo magnético fosse uniforme e constante, a partícula descreveria uma hélice cilíndrica com seção transversal de raio $R = \dfrac{m\,v_\perp}{|q|\,B}$.

Entretanto, como **B** diminui, esse raio aumenta e a partícula descreve aproximadamente a trajetória representada a seguir, que é uma hélice não cilíndrica:

Resposta: c

44.

a) Antes de a partícula penetrar no campo magnético, temos:

$R_{ar} = P \Rightarrow k\,v_0 = m\,g$

$$\boxed{k = \frac{m\,g}{v_0}}$$

b) A nova velocidade constante é atingida quando R_{ar} e F_M equilibram o peso, ou seja, quando a resultante de todas as forças se anula:

c) No triângulo retângulo destacado na figura anterior, temos:

$$Peso^2 = F_M{}^2 + R_{ar}{}^2$$

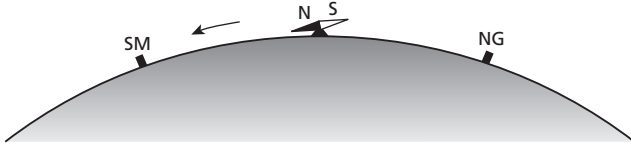
$$m^2\ g^2 = Q^2\ v_L{}^2\ B^2 + k^2\ v_L{}^2$$

$$v_L{}^2 = \frac{m^2\ g^2}{Q^2\ B^2 + k^2}$$

$$v_L = m\ g\ (Q^2\ B^2 + k^2)^{-\frac{1}{2}}$$

Respostas: a) $k = \frac{mg}{v_0}$; b) Veja a figura da resolução.

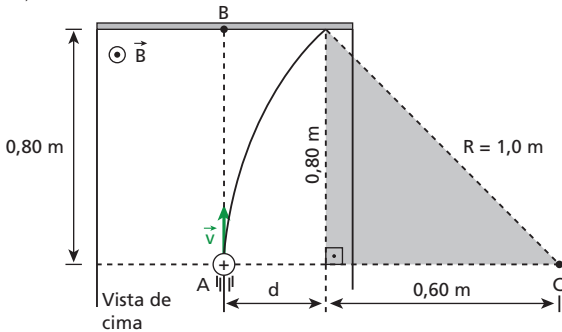
c) $v_L = m\ g\ (Q^2\ B^2 + k^2)^{-\frac{1}{2}}$

45.

Não.
A pessoa vai caminhar para o sul magnético, afastando-se, portanto, do norte geográfico.

Resposta: Não

46.

$$R = \frac{m\ v}{|q|\ B} = \frac{(2{,}0 \cdot 10^{-3}) \cdot (2{,}0 \cdot 10^{-2})}{(8{,}0 \cdot 10^{-6}) \cdot (5{,}0)}$$

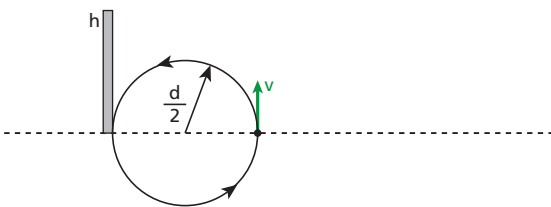
$R = 1{,}0$ m

$d = R - 0{,}60 = 1{,}0 - 0{,}60 \Rightarrow d = 0{,}40$ m

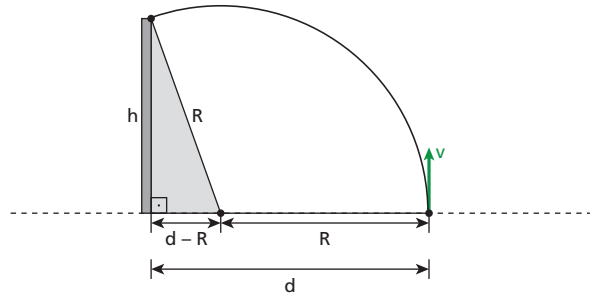
Resposta: 0,40 m

47.

$F_{cp} = F_m \Rightarrow \frac{m\ v^2}{r} = q\ v\ B$ 1, em que $q > 0$

$$B = \frac{m\ v}{q\ r}$$

- $B_{máx} \Rightarrow r_{mín} = \frac{d}{2}$

$$B_{máx} = \frac{m\ v}{q\ \frac{d}{2}} \Rightarrow \boxed{B_{máx} = \frac{2\ m\ v}{q\ d}}$$

- $B_{mín} \Rightarrow r_{máx} = R$

$R^2 = h^2 + (d - R)^2 \Rightarrow R^2 = h^2 + d^2 - 2\ d\ R + R^2$

$$R = \frac{h^2 + d^2}{2\ d}$$

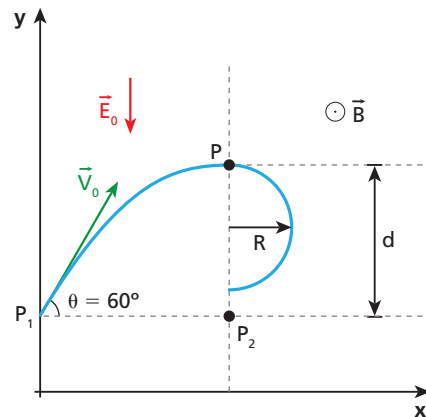
$$B_{mín} = \frac{m\ v}{q\left(\frac{h^2 + d^2}{2\ d}\right)} = \frac{2\ m\ v\ d}{q\ (h^2 + d^2)}$$

Então:

$$\boxed{\frac{2\ m\ v\ d}{q\ (h^2 + d^2)} \leqslant B \leqslant \frac{2\ m\ v}{q\ d}}$$

Resposta: $\frac{2\ m\ v\ d}{q\ (h^2 + d^2)} \leqslant B \leqslant \frac{2\ m\ v}{q\ d}$

48.

Na região do campo elétrico, o movimento é uniforme na direção **x**, uniformemente variado na direção **y**, e a trajetória do corpo é um arco de parábola. Esse arco está em concordância geométrica com uma semicircunferência de raio **R**, que é a trajetória do corpo na região do campo magnético. Para essa concordância ser possível, o vértice do arco de parábola, em que v_y é nula, precisa estar na fronteira entre as duas regiões (ponto **P**):

a) Na região do campo elétrico, temos:

$v_y = 0$ para $\Delta y = d$

$v_y{}^2 = v_{0_y}{}^2 + 2 \cdot a_y \cdot \Delta y \Rightarrow 0 = v_{0_y}{}^2 + 2\ a_y\ d \Rightarrow$

$$\Rightarrow d = -\frac{v_{0_y}{}^2}{2\ a_y} \quad (1)$$

$$v_{0_y} = v_0\ \text{sen}\ 60° = v_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow v_{0_y}{}^2 = \frac{3\ v_0^2}{4}$$

$$a_y = -\frac{F_e}{m} = -\frac{q\ E_0}{m}$$

Em (1):

$$d = \frac{\frac{3\,v_0^2}{4}}{2\,\frac{q\,E_0}{m}} \Rightarrow d = \frac{3\,m\,v_0^2}{8\,q\,E_0}$$

$$U = E_0\,d = \frac{3\,m\,v_0^2}{8\,q} \Rightarrow \boxed{(\nu_{P_1} - \nu_P) = -\frac{3\,m\,v_0^2}{8\,q}} \text{ (com } \nu_{P_1} < \nu_P)$$

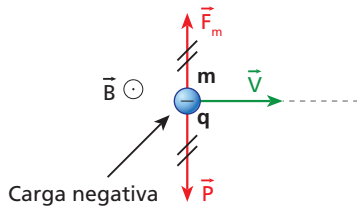
b) Nessa situação, temos: $d = 2\,R$.

$$R = \frac{m\,v_{0x}}{q\,B} = \frac{m\,v_0\cos 60°}{q\,B} = \frac{m\,v_0}{2\,q\,B}$$

$$d = 2\,R \Rightarrow \frac{3\,m\,v_0^2}{8\,q\,E_0} = \frac{2\,m\,v_0}{2\,q\,B} \Rightarrow \boxed{B = \frac{8\,E_0}{3\,v_0}}$$

Respostas: a) $-\frac{3\,m\,v_0^2}{8\,q}$; b) $\frac{8\,E_0}{3\,v_0}$

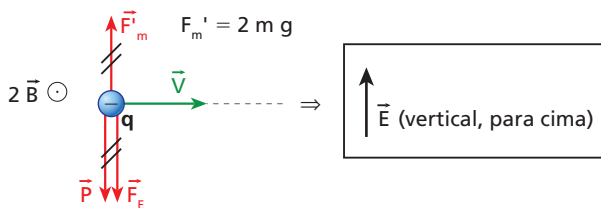
49.

a) $E_{m_A} = E_{m_P} = E_{m_Q} \Rightarrow m\,g\,H = \frac{m\,v^2}{2} \Rightarrow H = \frac{v^2}{2\,g}$ (I)

$$F_m = P \Rightarrow |q|\,v\,B = m\,g$$

$$v = \frac{m\,g}{|q|\,B} \quad \text{(II)}$$

(II) em (I):

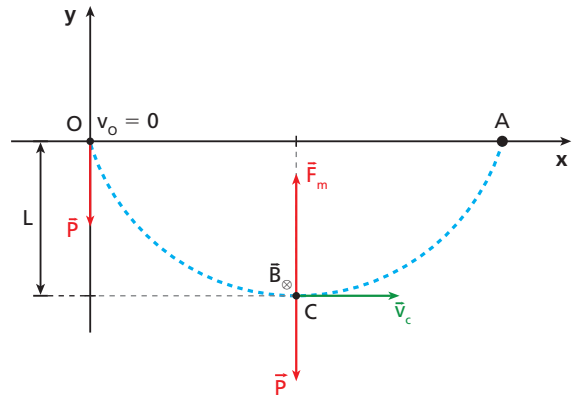
$$H = \frac{1}{2\,g} \cdot \frac{m^2\,g^2}{q^2\,B^2} \Rightarrow \boxed{H = \frac{m^2\,g}{2\,q^2\,B^2}}$$

b) A intensidade da força magnética, que era igual a m g, agora é o dobro:

$$F_e + P = F_m' \Rightarrow F_e + m\,g = 2\,m\,g \Rightarrow F_e = m\,g$$

$$|q|\,E = m\,g \Rightarrow \boxed{E = \frac{m\,g}{|q|}}$$

Respostas: a) $H = \frac{m^2\,g}{2\,q^2\,B^2}$; b) Intensidade: $E = \frac{m\,g}{|q|}$; Orientação: vertical, para cima.

50.

- A partícula se move entre os pontos **O** e **A**, realizando um movimento de vaivém, submetida exclusivamente à força peso e à força magnética.

- A projeção desse movimento na direção **y** é um movimento harmônico simples entre $y = 0$ e $y = -L$.

Assim, v_y é nula nos pontos **O**, **C** e **A**. Além disso, a força resultante tem a mesma intensidade em **C** e em **O** (pontos extremos do MHS):

$$F_m - P = P \Rightarrow F_m = 2\,P = 2\,m\,g \quad (1)$$

Aplicando o Teorema da Energia Cinética entre **O** e **C**, temos:

$$\tau_p + \tau_{F_m} = \frac{m\,v_C^2}{2} - \frac{m\,v_0^2}{2} \Rightarrow m\,g\,L + 0 = \frac{m\,v_C^2}{2} - 0$$

$$m\,g\,L = \frac{m\,v_C^2}{2} \Rightarrow L = \frac{v_C^2}{2\,g} \quad (2)$$

De (1):

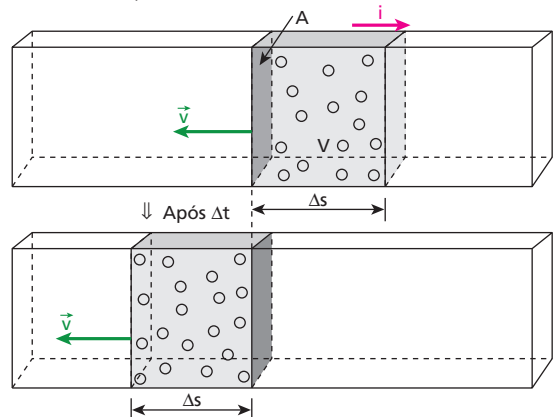
$$q\,v_C\,B_0 = 2\,m\,g \Rightarrow v_C = \frac{2\,m\,g}{q\,B_0} \quad (3)$$

(3) em (2):

$$L = \frac{1}{2\,g} \cdot \frac{4\,m^2\,g^2}{q^2\,B_0^2} \Rightarrow \boxed{L = \frac{2\,m^2\,g}{q^2\,B_0^2}}$$

Resposta: $L = \frac{2\,m^2\,g}{q^2\,B_0^2}$

51.

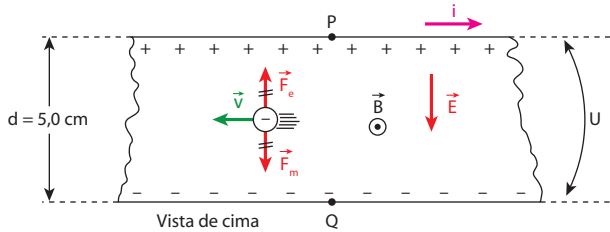
a) Durante um intervalo de tempo Δt, **N** elétrons livres passam por uma seção transversal da fita. Esses elétrons ocupam uma porção da fita de volume **V** e comprimento Δs:

$$n = \frac{N}{V} \Rightarrow N = n\,V = n\,A\,\Delta s$$

$$i = \frac{N\,e}{\Delta t} = \frac{n\,A\,\Delta s\,e}{\Delta t} \Rightarrow i = n\,A\,v\,e$$

$$v = \frac{i}{n\,A\,e}$$

$$v = \frac{100\ C/s}{8{,}5 \cdot 10^{22}\ \frac{\text{elétrons}}{cm^3}\ 5{,}0\ cm^2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ C}$$

$$\boxed{v = 1{,}47 \cdot 10^{-3}\ cm/s}$$

b)

A polarização da fita se encerra quando $\vec{F}_e$ e $\vec{F}_m$ se equilibram:

$F_e = F_m \Rightarrow e\,E = e\,v\,B \Rightarrow E = v\,B$

Como $E\,d = |U|$: $E = \frac{|U|}{d}$

Então:

$$\frac{|U|}{d} = v\,B \Rightarrow |U| = d\,v\,B$$

$$|U| = 5{,}0 \cdot 10^{-2}\ m\ 1{,}47 \cdot 10^{-5}\ m/s \cdot 4{,}0\ T$$

$$|U| = 2{,}94 \cdot 10^{-6}\ V \Rightarrow \boxed{|U| = 2{,}94\ \mu V}$$

Respostas: a) $1{,}47 \cdot 10^{-3}$ cm/s; b) 2,94 μV

Tópico 2 – A origem do campo magnético

Página 253

1.

Resposta: e

2.

No plano α, as linhas de indução são circunferências com centros no fio. Imagine que você esteja segurando o fio com a mão direita, de modo que seu dedo polegar aponte no sentido da corrente. Pela regra da mão direita envolvente, os outros dedos indicam o sentido das linhas de indução que, para o leitor, é horário. Portanto, os vetores 2 e 8 informam a orientação do vetor $\vec{\mathbf{B}}$ nos pontos **A** e **B**, respectivamente.

Resposta: Em **A**: 2; em **B**: 8

3.

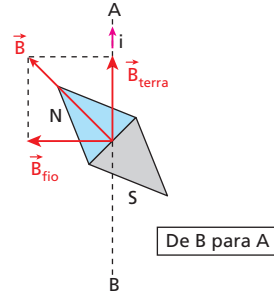
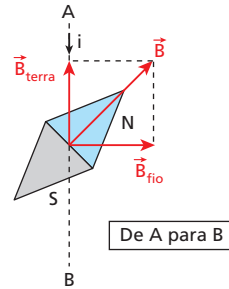
Usando a regra da mão direita envolvente, concluímos que o sentido da corrente é para a direita em I, para baixo em II, entrando no papel em III e saindo do papel em IV.

Resposta:

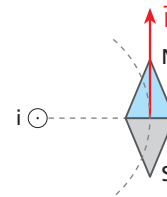
I. Para a direita (→); II. Para baixo (↓); III. Entrando no papel (×); IV. Saindo do papel (•).

4.

a)

b)

Respostas: a) De B para A; b) De A para B.

5.

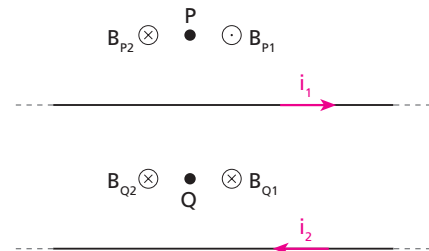
Usando a regra da mão direita envolvente:

Resposta: b

7.

$r = 10\ cm = 10 \cdot 10^{-2}\ m$

$$B = \frac{\mu\,i}{2\,\pi\,r} = \frac{4\,\pi\,10^{-7} \cdot 9{,}0}{2\,\pi \cdot 10^{-1}} \Rightarrow \boxed{B = 1{,}8 \cdot 10^{-5}\ T}$$

Resposta: $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ T

9.

a) $B_P = B_{P_1} - B_{P_2} = 1{,}0 \cdot 10^{-4} - 1{,}0 \cdot 10^{-4} \Rightarrow \boxed{B_P = 0}$

b) $B_Q = B_{Q_1} + B_{Q_2} = 1{,}0 \cdot 10^{-4} + 3{,}0 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{B_Q = 4{,}0 \cdot 10^{-4}\ T}$

Respostas: a) Zero; b) $4{,}0 \cdot 10^{-4}$ T

10.

Cargas elétricas em movimento (corrente elétrica) geram, em qualquer situação, um campo de indução magnética. Portanto uma corrente elétrica sempre produz efeito magnético.

Resposta: b

11.

Para r = 1 m, por exemplo, temos:

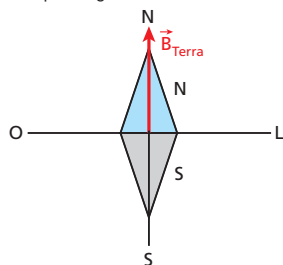
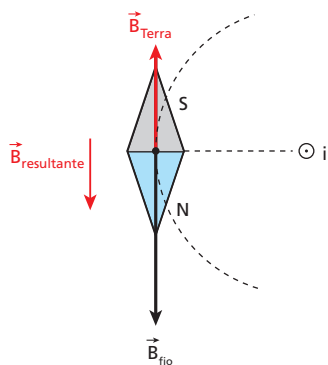
$$\frac{B}{\frac{\mu_0}{2\pi}} = 20 \Rightarrow \boxed{B = \frac{\mu_0}{2\pi}\,20}$$

Como $B = \frac{\mu_0\, i}{2\pi r}$, temos: $\frac{\mu_0}{2\pi}\,20 = \frac{\mu_0\, i}{2\pi}$

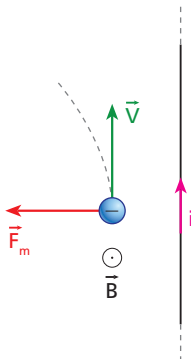
$\boxed{i = 20\ A}$

Resposta: 20 A

12.

Posição da agulha livre do campo magnético do fio:

Posição da agulha no ponto 5:

Notemos que a deflexão sofrida pela agulha, ao ser colocada no ponto 5, é de 180°.

Resposta: e

13.

Resposta: a

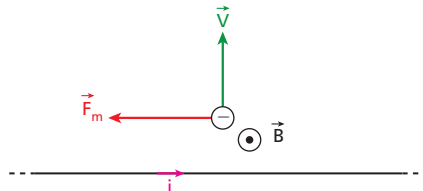
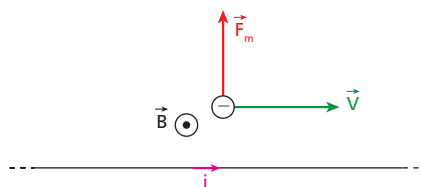
14.

A 10 cm do condutor, temos:

$$B = \frac{\mu_0\, i}{2\pi r} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B = 2 \cdot 10^{-4}\ T$$

a) $F_m = |q|\, v\, B \text{ sen } \theta$

$F_m = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{6} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1$

$\boxed{F_m = 1{,}6 \cdot 10^{-16}\ N}$

b) $\boxed{F_m = 1{,}6 \cdot 10^{-16}\ N}$

c) Sendo θ igual a 0° ou 180°: sen θ = 0 e $\boxed{F_m = 0}$

Respostas: a) $1{,}6 \cdot 10^{-16}$ N; b) $1{,}6 \cdot 10^{-16}$ N; c) Zero.

15.

Em **P**, $\vec{B}_1$ entra no papel:

$$B_1 = \frac{\mu\, i_1}{2\pi r} = \frac{4\pi\, 10^{-7} \cdot 18}{2\pi\, 3{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{B_1 = 1{,}2 \cdot 10^{-4}\ T}$$

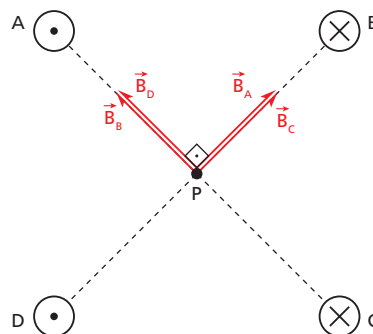
Em **P**, $\vec{B}_2$ sai do papel:

$$B_2 = \frac{\mu\, i_2}{2\pi r} = \frac{4\pi\, 10^{-7} \cdot 10}{2\pi\, 1{,}0 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{B_2 = 2{,}0 \cdot 10^{-4}\ T}$$

Assim: $B_P = B_2 - B_1 \Rightarrow \boxed{B_P = 8{,}0 \cdot 10^{-5}\ T}$

Resposta: $8{,}0 \cdot 10^{-5}$ T

17.

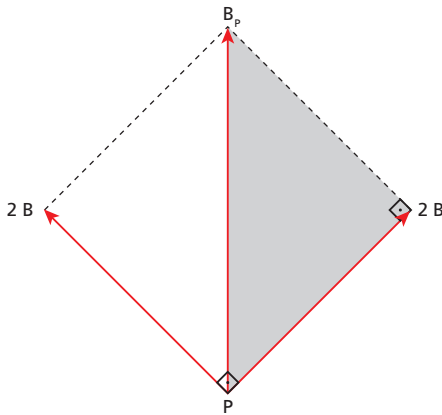
Na figura a seguir, estão indicados os vetores indução no centro **P** do quadrado, criados pelos quatro fios:

Como as correntes têm a mesma intensidade e **P** é equidistante dos quatro fios, temos:

$B_A = B_B = B_C = B_D = B = \dfrac{\mu\, i}{2\,\pi\, r}$

Sendo $\mu = 4\,\pi\, 10^{-7}\, \dfrac{T\,m}{A}$, $i = 30$ A e $r = \dfrac{\ell\sqrt{2}}{2} = 7{,}5\,\sqrt{2} \cdot 10^{-2}$ m,

calculemos **B**, que é o módulo comum dos quatro vetores:

$B = \dfrac{4\,\pi\, 10^{-7} \cdot 30}{2\,\pi\, 7{,}5\,\sqrt{2} \cdot 10^{-2}} \Rightarrow B = \dfrac{8{,}0 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{2}}\,T$

No centro do quadrado, temos:

Aplicando o Teorema de Pitágoras ao triângulo sombreado, obtemos:

$B_P{}^2 = (2\,B)^2 + (2\,B)^2 \Rightarrow B_P = 2\,B\sqrt{2}$

Como $B = \dfrac{8{,}0 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{5}}$T, calculemos B_P:

$B_P = 2 \cdot \dfrac{8{,}0 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{2}$

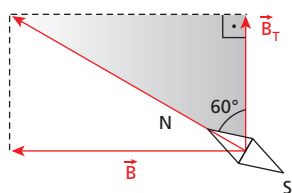
$B_P = 1{,}6 \cdot 10^{-4}$ T

Resposta: $1{,}6 \cdot 10^{-4}$ T

18.

a) • $i = \dfrac{U}{R} = \dfrac{6{,}0}{0{,}2} \Rightarrow i = 30$ A

• $B = \dfrac{\mu\, i}{2\,\pi\, r} = \dfrac{4\,\pi \cdot 10^{-7} \cdot 30}{2\,\pi \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-1}} \Rightarrow \boxed{B = 6{,}0 \cdot 10^{-5}\,T}$

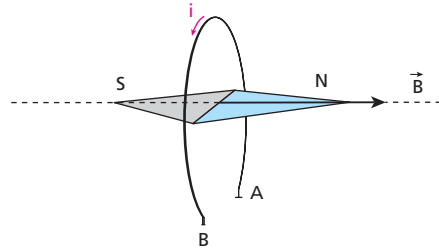
b)

$\text{tg } 60° = \dfrac{B}{B_T}$

$\sqrt{3} = \dfrac{2\sqrt{3} \cdot 10^{-5}}{B_T}$

$\boxed{B_T = 2{,}0 \cdot 10^{-5}\,T}$

Respostas: a) $6{,}0 \cdot 10^{-5}$ T; b) $2{,}0 \cdot 10^{-5}$ T

19.

Usando a regra da mão direita envolvente, determinamos o sentido de $\vec{B}$:

Resposta: Perpendicular ao plano da espira, com seu polo norte magnético apontando para a direita.

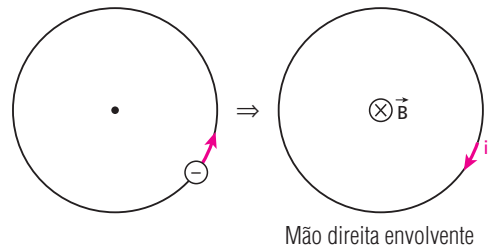
20.

Intensidade: $B = \dfrac{\mu_0\, i}{2\,R} = \dfrac{4\,\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5{,}0}{2 \cdot 2\,\pi \cdot 10^{-2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{B = 5{,}0 \cdot 10^{-5}\,T}$

Direção: perpendicular ao plano do papel (plano da espira).
Sentido: entrando no plano do papel.

Resposta: Perpendicular ao plano do papel, entrando nele, de intensidade igual a $5{,}0 \cdot 10^{-5}$ T.

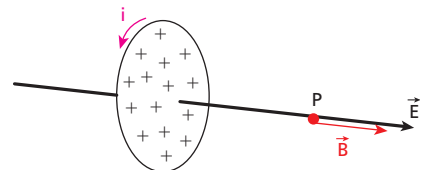
21.

Mão direita envolvente

Resposta: Perpendicular ao plano da circunferência, entrando nesse plano.

22.

Por estar eletrizado, o disco estabelece em **P** um campo elétrico, independentemente de estar ou não em rotação. Se estiver em rotação, o disco também estabelecerá em **P** um campo magnético.

Resposta: e

23.

a) $B = \dfrac{\mu\, 1}{2\,R} = \dfrac{4\,\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2 \cdot 0{,}10\,\pi} \Rightarrow \boxed{B = 2{,}0 \cdot 10^{-5}\,T}$

b) A interação é repulsiva porque na face da espira voltada para o ímã existe um polo norte magnético.

Respostas: a) $2{,}0 \cdot 10^{-5}$ T; b) Repulsiva.

25.

$$B_1 = \frac{\mu\, i_1}{2\,R_1} = \frac{4\,\pi\,10^{-7}\cdot 20}{2\cdot 0{,}20} \Rightarrow B_1 = 2\,\pi\,10^{-5}\,T$$

$$B_2 = \frac{\mu\, i_2}{2\,R_2} = \frac{4\,\pi\,10^{-7}\cdot 30}{2\cdot 0{,}40} \Rightarrow B_2 = 1{,}5\,\pi\,10^{-5}\,T$$

Como $\vec{B}_1$ e $\vec{B}_2$ têm a mesma direção e o mesmo sentido (perpendicular ao plano do papel, "entrando" no papel), temos, em **C**:

$$\boxed{B = B_1 + B_2 = 3{,}5\,\pi\,10^{-5}\,T}$$

Resposta: $3{,}5\,\pi \cdot 10^{-5}$ T

26.

$$B_1 = \frac{\mu_0\, i_1}{2\,R} = \frac{4\,\pi\,10^{-7}\cdot 8}{2\cdot 0{,}4\,\pi} \Rightarrow B_1 = 4\cdot 10^{-6}\,T$$

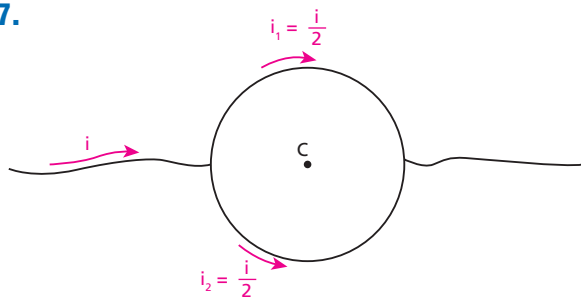
$$B_2 = \frac{\mu_0\, i_2}{2\,R} = \frac{4\,\pi\,10^{-7}\cdot 6}{2\cdot 0{,}4\,\pi} \Rightarrow B_2 = 3\cdot 10^{-6}\,T$$

Como os dois campos são perpendiculares entre si, temos, em **O**:

$B = 5\cdot 10^{-6}\,T = 5\,\mu T$

Nota: $\dfrac{T\,m}{A} = \dfrac{\dfrac{N}{C\,\frac{m}{s}}\,m}{A} = \dfrac{\frac{N}{A}}{A} = \dfrac{N}{A^2}$

Resposta: 5 μT

27.

As correntes de intensidades i_1 e i_2 criam, no centro **C**, campos magnéticos de mesma intensidade e sentidos opostos.
Então:
$B_C = 0$

Resposta: Zero

28.

$$B = \frac{n\,\mu\,i}{2\,R} = \frac{100\cdot 4\,\pi\cdot 10^{-7}\cdot 20}{2\cdot 2\,\pi\cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{B = 2\cdot 10^{-2}\,T}$$

Resposta: $2\cdot 10^{-2}$ T

Página 264

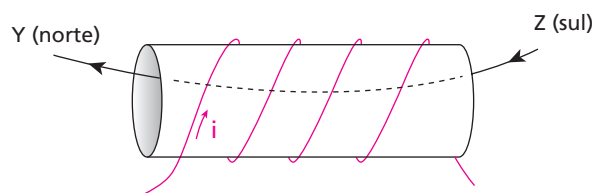
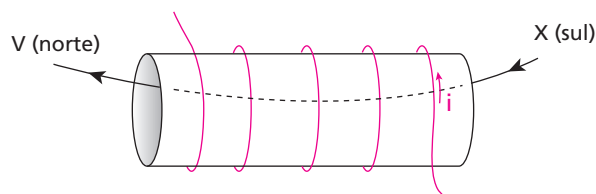
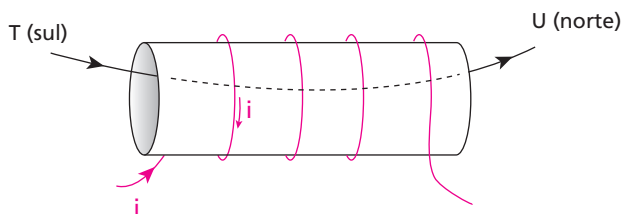
29.

Resposta: c

30.

Basta lembrar que as linhas de campo magnético, ao contrário das de campo eletrostático, são fechadas e, portanto, não existe um ponto onde "nascem" ou "morrem".

Resposta: a

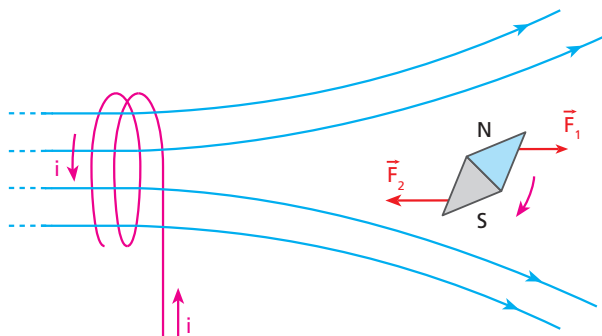
31.

Norte: U, V e Y
Sul: T, X e Z

Resposta: Norte: **U**, **V** e **Y**; Sul: **T**, **X** e **Z**.

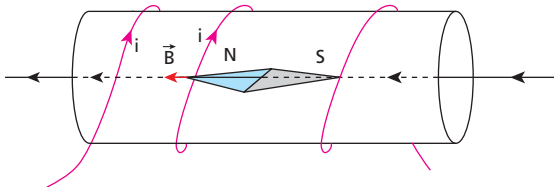
33.

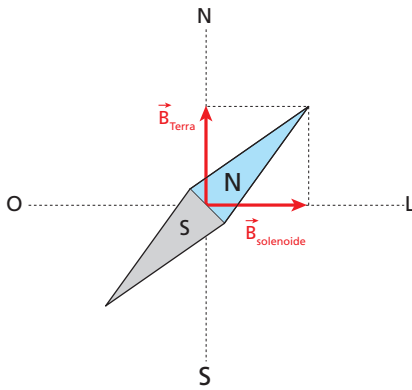
$$B = \frac{\mu\,n\,i}{\ell} = \frac{4\,\pi\cdot 10^{-7}\cdot 15\,000\cdot 1}{1} \Rightarrow \boxed{B = 0{,}19\,T}$$

Resposta: 0,19 T

34.

- A agulha deflete no sentido horário.
- $\vec{F}_2$ é mais intensa que $\vec{F}_1$ porque o polo sul magnético da agulha, **S**, estando mais próximo do solenoide, submete-se a um campo mais intenso que o percebido pelo polo norte, **N**.

Resposta: c

35.

Resposta: d

36.

Resposta: a

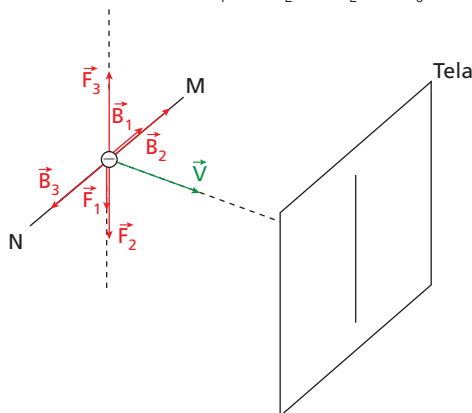
37.

- $B = \dfrac{F_m}{|q|\,v\,\text{sen}\,\theta} \Rightarrow T = \dfrac{N}{C \cdot \dfrac{m}{s}} \Rightarrow T = \dfrac{N}{\dfrac{C}{s} \cdot m} = \dfrac{N}{A\,m}$

- $\dfrac{T\,m}{A} = \dfrac{\dfrac{N}{A\,m} \cdot m}{A} \Rightarrow \boxed{\dfrac{T\,m}{A} = \dfrac{N}{A^2}}$

Resposta: Demonstração.

38.

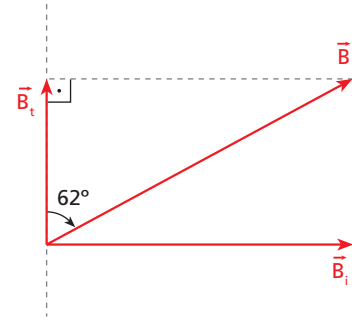
Como o campo magnético é variável, vamos analisar, na figura a seguir, usando a regra da mão direita espalmada, a deflexão dos elétrons quando o vetor indução magnética varia de $\vec{B}_1$ para $\vec{B}_2$ e de $\vec{B}_2$ para $\vec{B}_3$:

As forças magnéticas defletem os elétrons na vertical, para cima e para baixo.

Resposta: a

39.

Supondo que a unidade de comprimento a que se refere o enunciado seja o metro: $\dfrac{n}{\ell} = 300$ espiras/metro.

$i = 100{,}0 \cdot 10^{-3}$ A

$\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6}\ \dfrac{T\,m}{A}$

$$\text{tg}\,62° = \frac{B_i}{B_t} \Rightarrow B_t = \frac{B_i}{\text{tg}\,62°} = \frac{\mu_0 \frac{n}{\ell} i}{\text{tg}\,62°} =$$

$$= \frac{1{,}26 \cdot 10^{-6} \cdot 300 \cdot 100{,}0 \cdot 10^{-3}}{1{,}87}$$

$$\boxed{B_t = 2{,}02 \cdot 10^{-5}\ T}$$

Resposta: $2{,}02 \cdot 10^{-5}$ T

Página 272

40.

Resposta: c

41.

Resposta: c

42.

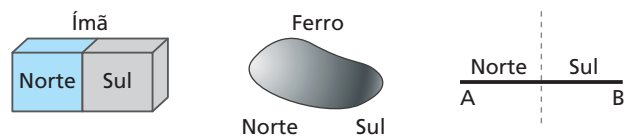
Resposta: e

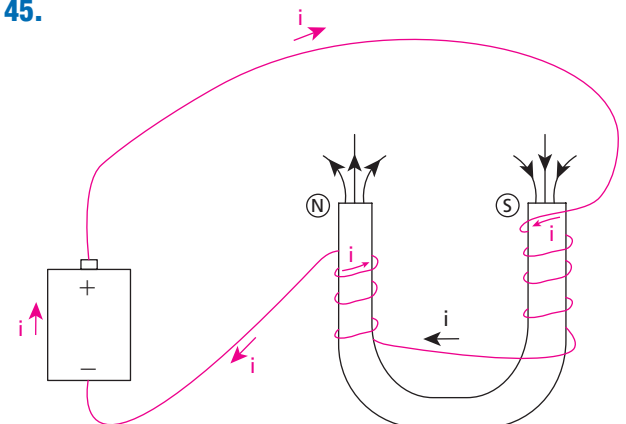
43.

Resposta:

Na mesma posição em que se estabilizou a agulha da bússola **a**.

44.

A extremidade **A** da agulha é um polo norte magnético.

Resposta: Sul

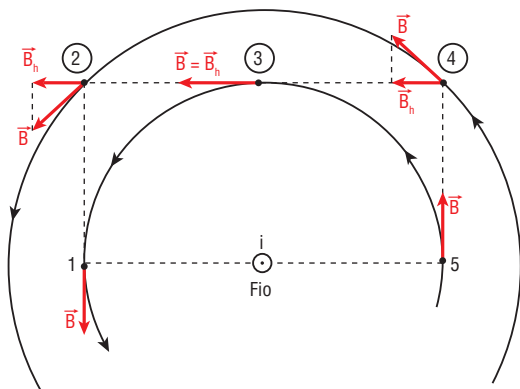
45.

Resposta: c

46.

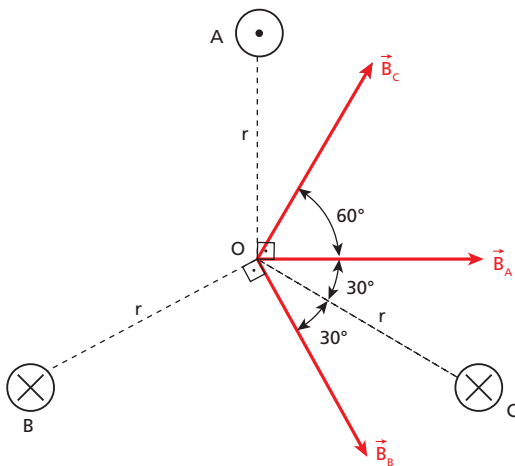
Se as correntes tivessem o mesmo sentido, haveria um enfraquecimento do campo magnético resultante nas vizinhanças do centro do segmento AB, pois elas criariam aí campos de sentidos opostos. O campo resultante nessa região, entretanto, é intenso, pois, quanto maior a densidade de linhas de indução, maior é a intensidade do campo. Além disso, na metade da distância entre os fios, o campo magnético não é nulo, já que existe uma linha de indução nesse local.

Resposta: a

47.

Só ocorrerá deflexão da agulha, no plano horizontal, nas posições em que o campo magnético gerado pela corrente no fio for horizontal ou, pelo menos, tiver componente horizontal. Isso acontece em 2, 3 e 4:

Resposta: e

48.

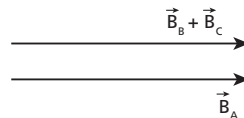
Na figura a seguir, estão indicados os vetores indução magnética criados em **O** pelos três condutores. Os sentidos desses vetores foram dados pela regra da mão direita envolvente.

Como as correntes têm a mesma intensidade nos três condutores e o ponto **O** é equidistante deles, concluímos que os módulos dos três vetores são iguais. Assim:

$$B_A = B_B = B_C = \frac{\mu_0\, i}{2\,\pi\, r}$$

Sendo $\mu_0 = 4\,\pi\, 10^{-7}\, \frac{T\,m}{A}$, i = 20 A e r = 2,0 m, temos:

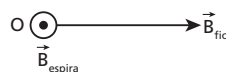
$$B_A = B_B = B_C = \frac{4\,\pi\, 10^{-7} \cdot 20}{2\,\pi\, 2{,}0} \Rightarrow B_A = B_B = B_C = 2{,}0 \cdot 10^{-6}\,T$$

A seguir, determinamos a resultante dos três vetores.

A soma de $\vec{B}_C$ com $\vec{B}_B$ é igual a $\vec{B}_A$:

$B_0 = 2{,}0 \cdot 10^{-6} + 2{,}0 \cdot 10^{-6}$

$B_0 = 4{,}0 \cdot 10^{-6}\,T$

Resposta: $4{,}0 \cdot 10^{-6}$ T

49.

$$B_{fio} = \frac{\mu_0 i}{2\pi\, r} \qquad B_{espira} = \frac{\mu_0 i}{2\,R}$$

$$B_0 = \sqrt{B_{fio}^{\ 2} + B_{espira}^{\ 2}} = \sqrt{\frac{\mu_0^{\ 2}\, i^2}{4\,\pi^2\, r^2} + \frac{\mu_0^{\ 2}\, i^2}{4\,R^2}} \Rightarrow B_0 = \frac{\mu_0\, i}{2}\sqrt{\frac{1}{\pi^2\, r^2} + \frac{1}{R^2}}$$

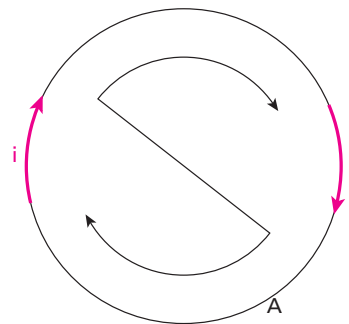
Resposta: $\frac{\mu_0\, i}{2}\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{\pi^2\, r^2}}$

50.

a) $\varepsilon = R_{eq}\, i \Rightarrow 100 = 20\, i \Rightarrow i = 5\,A$

$B = \frac{\mu\, n\, i}{\ell} = 4\,\pi\, 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 5$

$B = 2\,\pi \cdot 10^{-3}\,T$

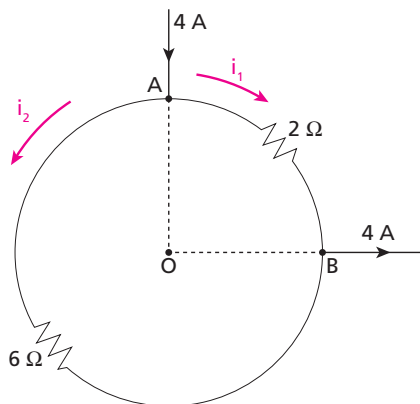
b) Um observador à esquerda de **A** vê a situação representada abaixo.

Assim, a extremidade **A** é um polo sul magnético.

Respostas: a) $2\,\pi \cdot 10^{-3}$ T; b) Polo sul magnético.

51.

a)

$\frac{1}{4}$ de 8 Ω = 2 Ω

$\frac{3}{4}$ de 8 Ω = 6 Ω

A diferença de potencial é igual para os dois arcos entre **A** e **B**. Lembrando que $U = R\,i$, temos:

$2\,i_1 = 6\,i_2 \Rightarrow i_1 = 3\,i_2$

Como $i_1 + i_2 = 4\text{ A} \Rightarrow 3\,i_2 + i_2 = 4\text{ A}$

$\boxed{i_2 = 1\text{ A}}$

$\boxed{i_1 = 3\text{ A}}$

b) i_1 cria $\vec{B_1}$ entrando em **O**:

$$B_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{\mu\, i_1}{2R} = \frac{3\,\mu}{8R}$$

i_2 cria $\vec{B_2}$ saindo de **O**:

$$B_2 = \frac{3}{4} \cdot \frac{\mu\, i_2}{2R} = \frac{3\,\mu}{8R}$$

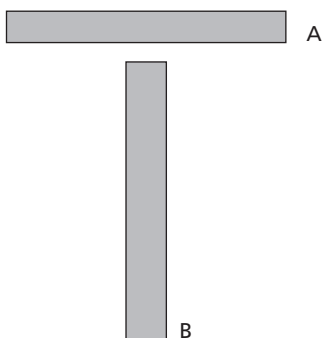
Portanto: $\boxed{B_0 = 0}$

Respostas: a) 1A, 3A; b) Zero

52.

a) Se forem notadas forças de campo entre as barras, pelo menos uma estará imantada.

b) Se as forças de campo entre uma extremidade de uma barra e uma extremidade da outra forem sempre de atração, apenas uma barra estará imantada. Se as forças forem de atração ou repulsão, as duas estarão imantadas.

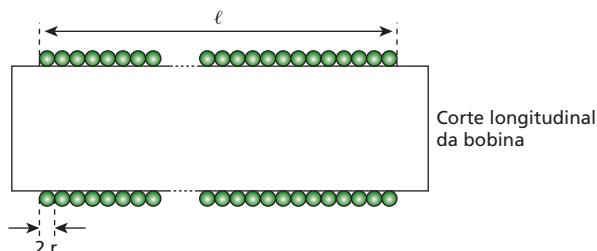
c) As barras deverão ser dispostas como na figura a seguir:

Se houver atração, a barra **B** estará imantada.
Se não houver atração, a barra **A** estará imantada.

Resposta: Veja a resolução.

53.

- Determinação de **i**:

$$V = R\,i = \frac{\rho\, L}{A}\, i = \frac{\rho\, L}{\pi\, r^2}\, i \Rightarrow i = \frac{\pi\, r^2\, V}{\rho\, L}$$

- Determinação de **n**:

Sendo ℓ o comprimento da bobina e **N** o número de espiras, temos:

$$n = \frac{N}{\ell} \text{ e } \ell = N\,2\,r$$

Portanto:

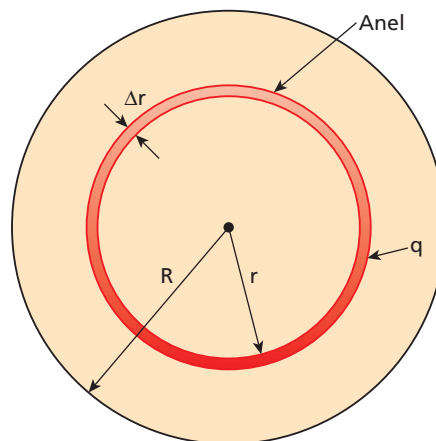
$$n = \frac{N}{N\,2\,r} = \frac{1}{2\,r}$$

- Finalmente, temos:

$$B = \mu\, n\, i = \mu\, \frac{1}{2\,r} \cdot \frac{\pi\, r^2\, L}{\rho\, L}$$

$$B = \frac{\mu\, \pi\, r\, V}{2\,\rho\, L}$$

Resposta: a

54.

Área total: $\pi\, R^2$

Área do anel de largura elementar: $2\,\pi\, r\,\Delta r$

Carga total: **Q**

Carga do anel: **q**

Como a carga é proporcional à área:

$$\frac{q}{Q} = \frac{2\,\pi\, r\,\Delta r}{\pi\, R^2} \Rightarrow q = \frac{2\,Q\,r\,\Delta r}{R^2}$$

A intensidade da corrente elétrica gerada por **q**, considerando um período **T**, é dada por:

$$i = \frac{q}{T} = \frac{2\,Q\,r\,\Delta r}{T\,R^2} = \frac{2\,Q\,r\,\Delta r}{\frac{2\,\pi}{\omega} \cdot R^2} = \frac{Q\,\omega\, r\,\Delta r}{\pi\, R^2}$$

A intensidade do campo magnético gerado pelo anel, em seu centro, é:

$$B = \frac{\mu_0\, i}{2\,r} = \frac{\mu_0\, \frac{Q\,\omega\, r\,\Delta r}{\pi\, R^2}}{2\,r} = \frac{\mu_0\, Q\,\omega}{2\,\pi\, R^2}\,\Delta r$$

Então:

$$B_{total} = \Sigma B = \Sigma\, \frac{\mu_0\, Q\,\omega}{2\,\pi\, R^2}\,\Delta r = \underbrace{\frac{\mu_0\, Q\,\omega}{2\,\pi\, R^2}}_{\text{constante}}\; \underbrace{\Sigma\,\Delta r}_{R} \Rightarrow B_{total} = \frac{\mu_0\, Q\,\omega}{2\,\pi\, R^2}\, R$$

$$\boxed{B_{total} = \frac{\mu_0\, Q\,\omega}{2\,\pi\, R}}$$

Resposta: $\dfrac{\mu_0\, Q\,\omega}{2\,\pi\, R}$

55.

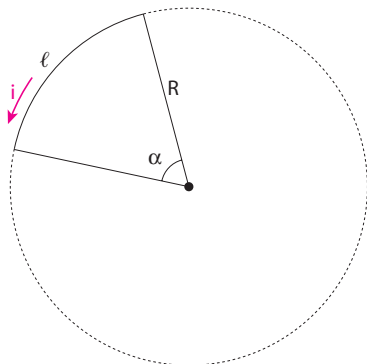
a) Nesse caso, $\alpha = \beta = 90°$ e sen α = sen $\beta = 1$:

$$B = \frac{\mu\, i}{4\,\pi\, r}(1 + 1) \Rightarrow B = \frac{\mu\, i}{2\,\pi\, r}$$

b) Agora temos $\alpha = 90°$ e $\beta = 0°$. Então, sen $\alpha = 1$ e sen $\beta = 0$:

$$B = \frac{\mu\, i}{4\,\pi\, r}(1 + 0) \Rightarrow B = \frac{\mu\, i}{4\,\pi\, r} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu\, i}{2\,\pi\, r}$$

Respostas: a) Veja a demonstração. b) Veja a demonstração.

56.

Revendo a aplicação da Lei de Bio-Savart-Laplace na determinação da intensidade B_{espira} do vetor indução magnética no centro de uma espira circular, percebemos que um trecho da espira cria naquele ponto um vetor indução de intensidade B_{trecho}, proporcional ao comprimento ℓ do trecho. Assim, sendo 2π R o comprimento total da espira, temos:

$$\frac{B_{trecho}}{\ell} = \frac{B_{espira}}{2\pi R}$$

$$B_{trecho} = B_{espira} \cdot \frac{\ell}{2\pi R}$$

Como $\frac{\ell}{R} = \alpha$ (em radianos), podemos escrever:

$$B_{trecho} = B_{espira} \cdot \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{\mu_0\, i}{2R} \cdot \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{\mu_0\, i\, \alpha}{4\pi R}$$

Vamos, então, à resolução do exercício.

Os trechos retilíneos não criam vetor indução em **C**. O trecho circular de raio R_1 cria em **C** um vetor indução de intensidade B_1 e sentido entrando no papel:

$$B_1 = \frac{\mu_0\, i\, \alpha}{4\pi R_1}$$

O trecho circular de raio R_2 cria em **C** um vetor indução de intensidade B_2 e sentido saindo do papel:

$$B_2 = \frac{\mu_0\, i\, \alpha}{4\pi R_2}$$

Então, a intensidade do vetor indução resultante em **C** é dada por:

$$B = B_1 - B_2 \Rightarrow \boxed{B = \frac{\mu_0\, i\, \alpha}{4\pi}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}$$

Resposta: $\frac{\mu_0\, i\, \alpha}{4\pi}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

57.

a) 1. Como foi visto no Tópico 1, a trajetória da partícula tem forma de hélice cilíndrica.

2. A cada período **T**, a partícula avança um passo **p** da hélice cilíndrica, em movimento uniforme:

$$p = v \cdot \cos\theta \cdot T = v \cdot \cos\theta \cdot \frac{2\pi m}{qB} = \frac{2\pi m v \cdot \cos\theta}{qB}$$

Devemos ter:

$$\ell = N p$$

$$\ell = N \cdot \frac{2\pi m v \cdot \cos\theta}{qB} \Rightarrow B = \frac{N 2\pi m v \cdot \cos\theta}{q\ell} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu_0 \frac{n}{\ell} i = \frac{N 2\pi m v \cdot \cos\theta}{q\ell} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{i = \frac{N 2\pi m v \cdot \cos\theta}{\mu_0\, n q}}$$

b) O raio **R** da hélice cilíndrica deve ser menor que R_s:

$$R < R_s \Rightarrow \frac{m v \cdot \text{sen}\,\theta}{qB} < R_s \Rightarrow \frac{m v \cdot \text{sen}\,\theta}{q \cdot \frac{\mu_0\, n i}{\ell}} < R_s \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\ell\, m v \cdot \text{sen}\,\theta}{\mu_0\, q n \cdot \frac{N 2\pi m v \cdot \cos\theta}{\mu_0\, n q}} < R_s \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\text{tg}\,\theta < \frac{2\pi N R_s}{\ell}}$$

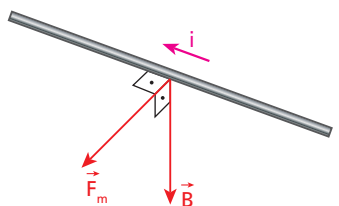
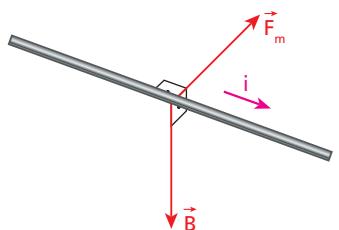
Respostas: a) 1. Hélice cilíndrica; 2. $\frac{N 2\pi m v \cos\theta}{\mu_0\, n q}$;
b) $\theta < \text{arc tg}\,\frac{2\pi N R_s}{\ell}$

Tópico 3 – Força magnética sobre correntes elétricas

Página 283

2.

Usando a regra da mão direita espalmada:

a)

b)

Respostas: a) Para dentro; b) Para fora

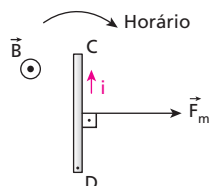
3.

$F_m = B\, i\, \ell\, \text{sen}\,\theta = (1) \cdot (5) \cdot (1 \cdot 10^{-2}) \cdot (1) \Rightarrow \boxed{F_m = 5 \cdot 10^{-2}\,N}$

Resposta: $5 \cdot 10^{-2}$ N

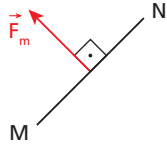
4.

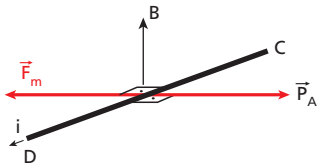
Resposta: b

5.

$F_m = B\,i\,\ell\,\text{sen}\,\theta = (0{,}50) \cdot (5{,}0) \cdot (30 \cdot 10^{-2}) \cdot (1)$

$\boxed{F_m = 0{,}75\ \text{N}}$

A orientação da força é dada pela regra da mão direita espalmada.

Resposta: Intensidade: 0,75 N. Direção: perpendicular a $\vec{B}$ e ao fio.
Sentido:

7.

a)

A corrente tem sentido de **C** para **D**.

b) $F_m = P_A \Rightarrow B\,i\,\ell = P_A \Rightarrow 1 \cdot i \cdot 0{,}10 = 2 \Rightarrow \boxed{i = 20\ \text{A}}$

Respostas: a) De **C** para **D**; b) 20 A

8.

Temos $F_m = B\,i\,\ell\,\text{sen}\,\theta$.

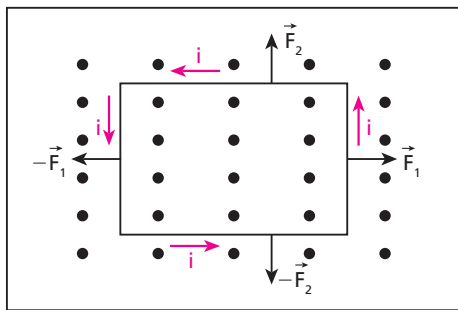
No lado AB: $\theta = 180° \Rightarrow \boxed{F_{AB} = 0}$

No lado DC: $\theta = 0° \Rightarrow \boxed{F_{DC} = 0}$

Nos lados AD e BC: $\theta = 90°$

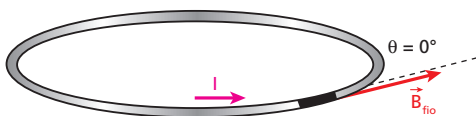
$F_m = B\,i\,\ell = 5 \cdot 10^{-2} \cdot 5 \cdot 0{,}2 \Rightarrow \boxed{F_{AD} = F_{BC} = 5 \cdot 10^{-2}\ \text{N}}$

Resposta: $F_{AB} = 0$; $F_{DC} = 0$; $F_{AD} = F_{BC} = 5 \cdot 10^{-2}$ N

9.

- A força magnética resultante na espira é nula.
- O torque total das forças magnéticas em relação ao centro da espira é nulo porque as linhas de ação de todas elas passam pelo centro.

Resposta: b

10.

Em qualquer trecho elementar da espira, o ângulo **θ** é igual a zero:

Assim, a força magnética na espira é nula.

Resposta: b

11.

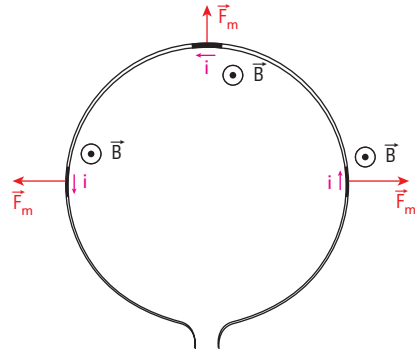
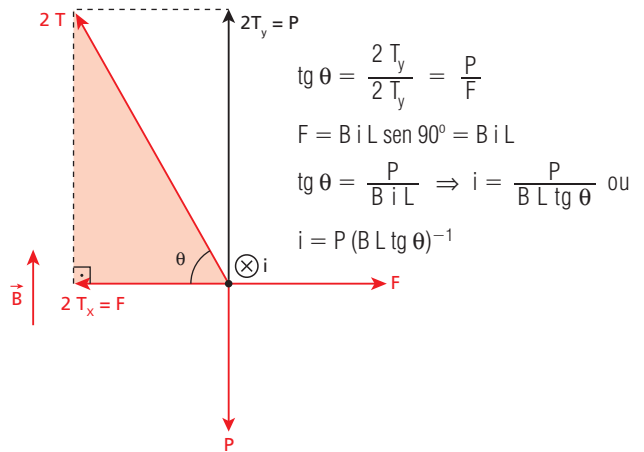
Resposta: b

12.

$\text{tg}\,\theta = \dfrac{2\,T_y}{2\,T_y} = \dfrac{P}{F}$

$F = B\,i\,L\,\text{sen}\,90° = B\,i\,L$

$\text{tg}\,\theta = \dfrac{P}{B\,i\,L} \Rightarrow i = \dfrac{P}{B\,L\,\text{tg}\,\theta}$ ou

$i = P\,(B\,L\,\text{tg}\,\theta)^{-1}$

Resposta: d

Página 287

14.

Em **A**, as hastes se atraem porque são percorridas por correntes elétricas de mesmo sentido (de cima para baixo). Em **B**, elas se repelem porque são percorridas por correntes de sentidos contrários.

Resposta: Em **A**: atração; em **B**: repulsão.

15.

I. Correta: $B_p = \dfrac{\mu\,i}{2\,\pi\,r}$ e $B_Q = \dfrac{\mu\,2\,i}{2\,\pi\,r} \Rightarrow B_Q > B_P$

II. Incorreta: pelo Princípio de Ação e Reação, $F_{QP} = F_{PQ}$.

III. Correta.

IV. Correta: como as correntes têm o mesmo sentido, as forças magnéticas entre os fios são de atração.

Resposta: I, III e IV

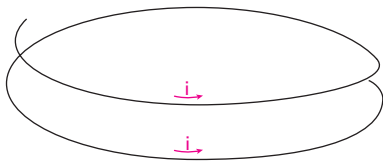
16.

$F_m = \dfrac{\mu\,i_1\,i_2\,\ell}{2\,\pi\,d} \Rightarrow \dfrac{F_m}{\ell} = \dfrac{\mu\,i_1\,i_2}{2\,\pi\,d} = \dfrac{4\,\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}0 \cdot 2{,}0}{2\,\pi \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-2}}$

$\boxed{\dfrac{F_m}{\ell} = 2{,}0 \cdot 10^{-5}\ \text{N/m}}$

Como as correntes têm sentidos opostos, a força magnética é de repulsão.

Resposta: a

17.

Haverá atração entre as espiras porque serão percorridas por correntes elétricas de mesmo sentido. Assim, o comprimento da mola deverá diminuir.
Resposta: Deve diminuir.

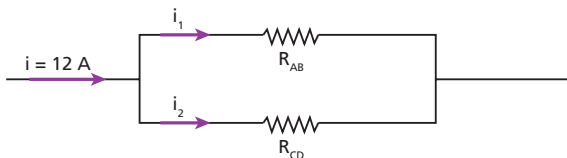
18.

$$\frac{F_{12}}{F_{13}} = \frac{\frac{\mu\, i\, i\, \ell}{2\pi a}}{\frac{\mu\, i\, i\, \ell}{2\pi \cdot 3a}} = 3$$

Resposta: 3

19.

Lembrando que $R = \frac{\rho\, \ell}{A}$ e sendo $A_{AB} = 2\,A_{CD}$:

$$R_{AB} = \frac{R_{CD}}{2} \Rightarrow R_{CD} = 2\,R_{AB}$$

$R_{AB}\, i_1 = R_{CD}\, i_2 \Rightarrow R_{AB}\, i_1 = 2\,R_{AB}\, i_2$

$i_1 = 2\,i_2$

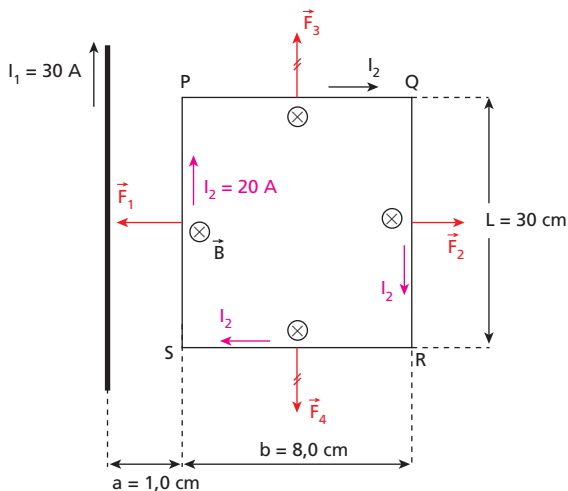
$$\left.\begin{array}{l} i_1 = 2\,i_2 \\ i_1 + i_2 = 12 \end{array}\right\} \begin{array}{l} i_1 = 8\text{ A} \\ i_2 = 4\text{ A} \end{array}$$

Temos que:

$$F = \frac{\mu\, i_1\, i_2\, \ell}{2\,\pi\, d} = \frac{4\,\pi\, 10^{-7} \cdot 8 \cdot 4 \cdot 1}{2\,\pi\, 1{,}0 \cdot 10^{-2}}$$

$$\boxed{F = 6{,}4 \cdot 10^{-4}\text{ N}}$$

Resposta: $6{,}4 \cdot 10^{-4}$ N

20.

- $\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$ equilibram-se porque as intensidades de $\vec{B}$ ao longo do lado PQ se repetem ao longo do lado RS.

- A força magnética resultante $\vec{F}$ tem intensidade dada por:

$$F = F_1 - F_2 = \frac{\mu_0\, I_1\, I_2\, L}{2\,\pi\, a} - \frac{\mu_0\, I_1\, I_2\, L}{2\,\pi(a + b)} = \frac{\mu_0\, I_1\, I_2\, L}{2\,\pi}\left(\frac{b}{a(a + b)}\right)$$

$$F = \frac{(4\,\pi \cdot 10^{-7}) \cdot (30) \cdot (20) \cdot (30 \cdot 10^{-2})}{2\pi} \cdot \left(\frac{8{,}0 \cdot 10^{-2}}{9{,}0 \cdot 10^{-4}}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{F = 3{,}2 \cdot 10^{-3}\text{ N}}$$

Resposta: c

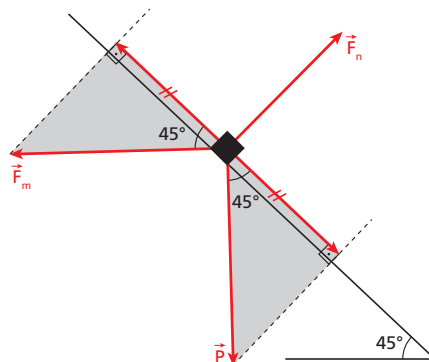
21.

Para o movimento tornar-se iminente, é preciso que a intensidade da força magnética atinja o valor da força de atrito de destaque. Calculemos, então, o valor da indução magnética, que é vertical:

$B\, i\, \ell = \mu_e\, m\, g \Rightarrow B\, 10 \cdot 0{,}6 = 0{,}5 \cdot 0{,}3 \cdot 10$

$B = 0{,}25$ T

Resposta: 0,25 T

22.

$F_m \cos 45° = P \cos 45° \Rightarrow F_m = P$

$B\, i\, \ell = P \Rightarrow 0{,}5\, i \cdot 1 = 2 \Rightarrow i = 4$ A

Resposta: 4 A

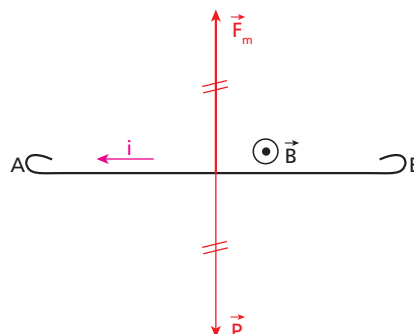
23.

Para o condutor AB ficar em repouso, é preciso que a força magnética $\vec{F}_m$ equilibre seu peso $\vec{P}$.

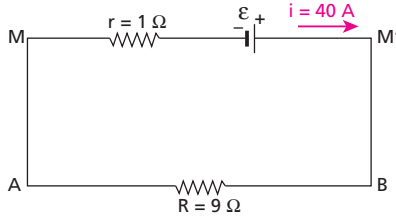
Então:

$F_m = P$

$B\, i\, \ell \text{ sen } \theta = P$

$$i = \frac{P}{B\, \ell \text{ sen } \theta}$$

Como $P = 20$ N, $B = 0,5$ T, $\ell = 1$ m e sen θ = sen 90° = 1, calculemos **i**:

$$i = \frac{20}{0,5 \cdot 1 \cdot 1} \Rightarrow i = 40 \text{ A}$$

A situação esquematizada equivale, eletricamente, ao circuito a seguir:

Então:

$\varepsilon = (R + r)\, i$

Fazendo $R = 9\, \Omega$, $r = 1\, \Omega$ e $i = 40$ A, calculemos ε:

$\varepsilon = (9 + 1)\, 40$

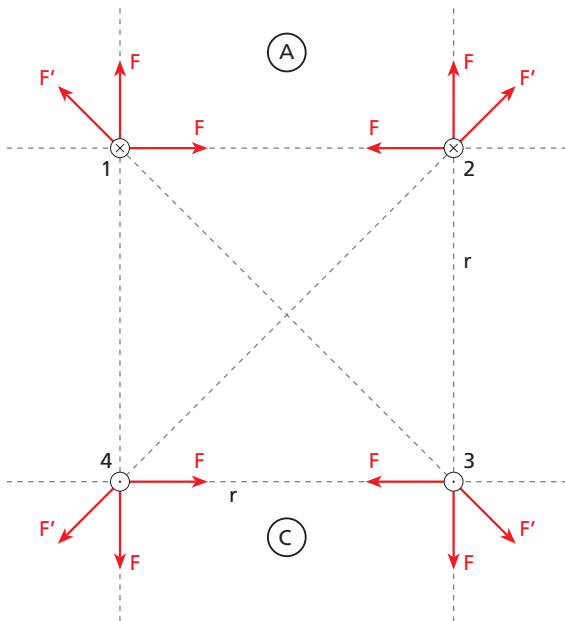
$\boxed{\varepsilon = 4 \cdot 10^2 \text{ V}}$

Resposta: $4 \cdot 10^2$ V

24.

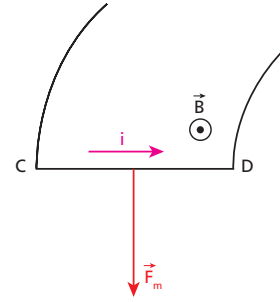
Sendo **i** as intensidades das correntes, ℓ os comprimentos dos fios entre dois suportes e **r** as distâncias entre os fios **1** e **2**, **2** e **3**, **3** e **4**, e **4** e **1**, a intensidade **F** das forças magnéticas trocadas por eles é dada por:

$$F = \frac{\mu\, i^2\, \ell}{2\, \pi\, r}$$

Entre os fios **1** e **3** e os fios **2** e **4**, as distâncias são iguais a $r\sqrt{2}$ e a intensidade **F'** das forças magnéticas trocadas por eles é igual a $\frac{F}{\sqrt{2}}$:

Analisando a força magnética resultante em cada fio, concluímos que os fios **1** e **2** tendem a se movimentar para a região **A** e os fios **3** e **4**, para a região **C**.

Resposta: a

25.

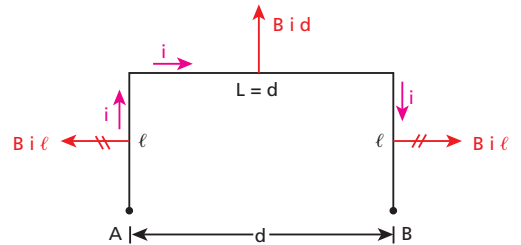
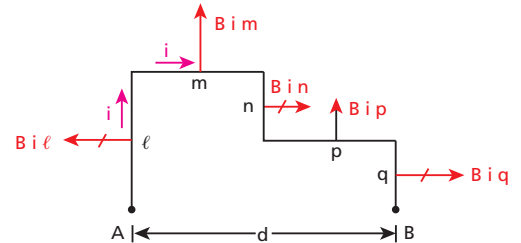
No trecho CD surge uma força magnética vertical para baixo, cuja intensidade deve ser igual à do peso do corpo colocado no prato para reestabelecer o equilíbrio:

$F_m = P$

$$B\, i\, \overline{CD} = m\, g \Rightarrow B = \frac{m\, g}{i\, \overline{CD}}$$

$$B = \frac{15,0 \cdot 10^{-3} \cdot 9,80}{10,0 \cdot 5,00 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{B = 0,294 \text{ T}}$$

Resposta: 0,294 T

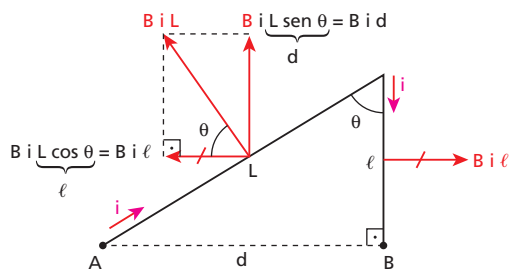
26.

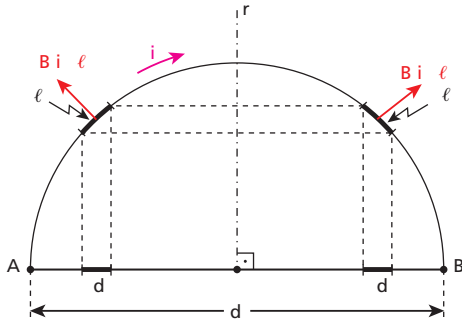
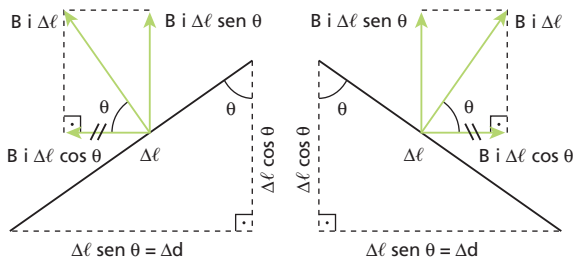
a) F_1:

F_2:

$B\, i\, n + B\, i\, q = B\, i\, (n + q) = B\, i\, \ell$

$B\, i\, m + B\, i\, p = B\, i\, (m + p) \Rightarrow F_m = B\, i\, d$

F_3:

$$\cos \theta = \frac{\ell}{L} \Rightarrow \ell = L \cos \theta$$

$$\text{sen } \theta = \frac{d}{L} \Rightarrow d = L \text{ sen } \theta$$

Então: $\boxed{F_m = B\, i\, d}$

b) Consideremos trechos elementares do fio, de comprimentos iguais a $\Delta\ell$, e simétricos em relação à reta **r**:

Para uma melhor visualização, vamos ampliar esses trechos:

Por simetria, as componentes de intensidades $B\,i\,\Delta\ell\cos\theta$ se equilibram. Então:

$$F_m = \Sigma B\,i\,\underbrace{\Delta\ell \text{ sen } \theta}_{\Delta d} = B\,i\,\Sigma\,\Delta d$$

$$\boxed{F_m = B\,i\,d}$$

Respostas: a) B i d nos três fios; b) B i d

27.

a) • Nos lados AC e BD, a força magnética é nula.

• Nos lados AB e CD, as forças magnéticas são opostas, têm intensidades F_m iguais a $B\,i\,(\overline{AB})$, e constituem um binário de braço $\overline{AC}$, cujo torque vale:

$$\tau = F_m\,\overline{AC} = B\,i\,\underbrace{\overline{AB}\,\overline{AC}}_{S} \Rightarrow \boxed{\tau = B\,i\,S}$$

b) Mantidos **B** e **i**, o torque será máximo quando a área da mesma espira de perímetro **p** for máxima. Isso acontece no caso de se tornar a espira circular (perímetro $= 2\,\pi\,r$):

• $2\pi r = p \Rightarrow r = \dfrac{p}{2\,\pi}$

• $S_{máx} = \pi r^2 = \pi \dfrac{p^2}{4\,\pi^2} = \dfrac{p^2}{4\,\pi}$

• $\boxed{\tau_{máx} = B i S_{máx} = \dfrac{B\,i\,p^2}{4\,\pi}}$

Respostas: a) $\tau = B\,i\,S$; b) $\tau = \dfrac{B\,i\,p^2}{4\,\pi}$

Tópico 4 – Indução eletromagnética

Página 302

2.

a) $\phi = B\,A\cos\theta = (4{,}0)\cdot(20\cdot10^{-2})^2\cdot\cos 0° \Rightarrow \boxed{\phi = 0{,}16\text{ Wb}}$

b) $\theta = 90° \Rightarrow \cos\theta = 0 \Rightarrow \boxed{\phi = 0}$

Respostas: a) 0,16 Wb; b) Zero

3.

a) Como as duas seções são atravessadas pela mesma quantidade de linhas de indução, temos:

$\boxed{\phi_1 = \phi_2}$

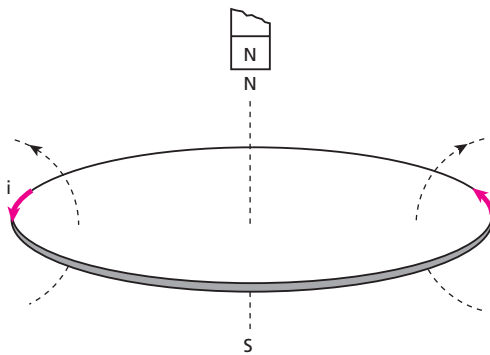
b) A densidade de linhas de indução é maior na seção 1 que na seção 2. Portanto:

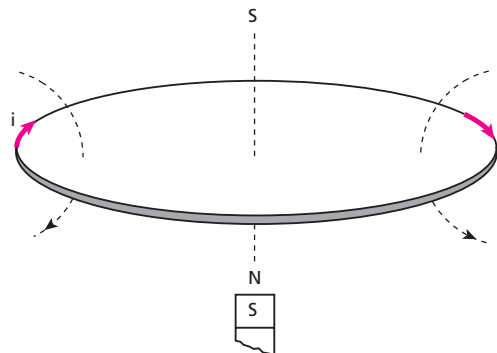
$\boxed{B_1 > B_2}$

Respostas: a) $\phi_1 = \phi_2$; b) $B_1 > B_2$

4.

a) Não surge corrente induzida quando não há movimento relativo entre o ímã e a espira.

b)

A corrente induzida tem sentido anti-horário.

c)

A corrente induzida tem sentido horário.

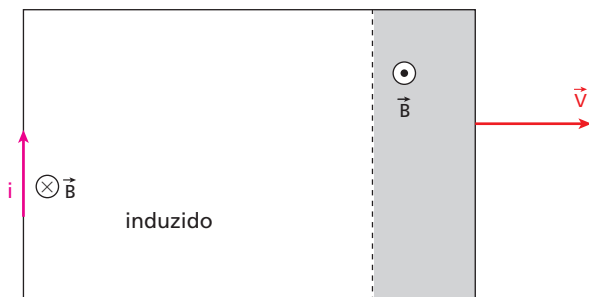
Respostas: a) Não existe corrente induzida; b) Anti-horário; c) Horário

5.

A corrente induzida no solenoide acarreta o surgimento de um polo magnético sul em sua extremidade voltada para o ímã, de modo que se opõe à causa da variação do fluxo indutor, ou seja, opõe-se à aproximação do ímã.

Resposta: d

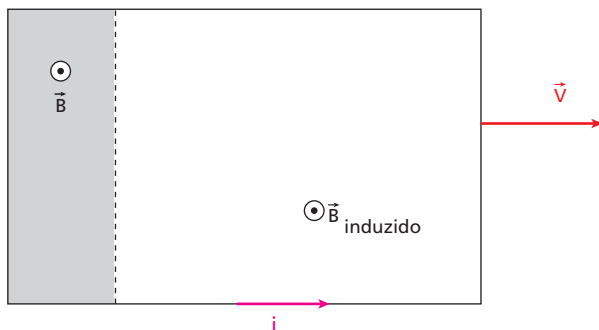
7.

a) A área da região da espira em que ocorre o fluxo está aumentando.

O fluxo indutor "saindo do papel" está aumentando $\Rightarrow$ fluxo induzido "entrando no papel".

A corrente induzida tem sentido horário.

b) A área onde ocorre o fluxo é constante. Portanto, não há variação do fluxo indutor.

Não há corrente induzida.

c) A área onde ocorre o fluxo indutor está diminuindo.

O fluxo indutor "saindo do papel" está diminuindo $\Rightarrow$ fluxo induzido "saindo no papel".

A corrente induzida tem sentido anti-horário

Respostas: a) Horário; b) Não há corrente induzida; c) Anti-horário.

8.

a) O fluxo indutor cresce "entrando no papel". A corrente induzida tem sentido anti-horário, criando um fluxo induzido "saindo do papel".

b) O fluxo indutor "entrando no papel" diminui. A corrente induzida tem sentido horário, criando um fluxo induzido "entrando no papel".

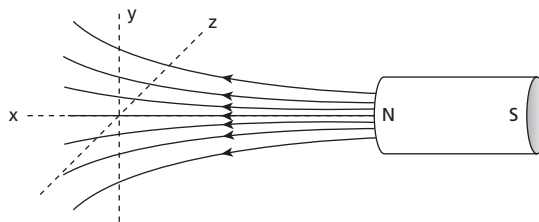
c) Não há variação do fluxo indutor; portanto, a corrente induzida é nula.

Respostas: a) Anti-horário; b) Horário; c) Não há corrente induzida.

9.

- Na espira **A**, está crescendo o fluxo indutor "entrando no papel". A corrente induzida tem sentido anti-horário, criando um fluxo induzido "saindo do papel".
- Na espira **B**, está crescendo o fluxo indutor "saindo do papel". A corrente induzida tem sentido horário, criando um fluxo induzido "entrando no papel".

Resposta: c

10.

- Como $\vec{B}$ varia ao longo dos eixos **x**, **y** e **z**, o fluxo indutor através do aro variará se ele se deslocar na direção desses eixos e, consequentemente, surgirá nele uma corrente elétrica induzida.
  Essa variação de fluxo também pode ser percebida observando a variação da quantidade de linhas de indução através do aro.
- Se o aro girar em torno de **y** ou de **z**, a quantidade de linhas de indução através dele variará, surgindo então uma corrente induzida.
  Entretanto, se o aro girar em torno de **x**, a quantidade de linhas de indução através dele não variará e, portanto, não aparecerá no aro uma corrente induzida.

Resposta: c

11.

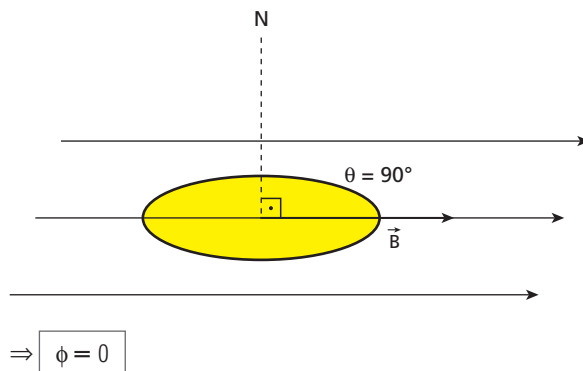
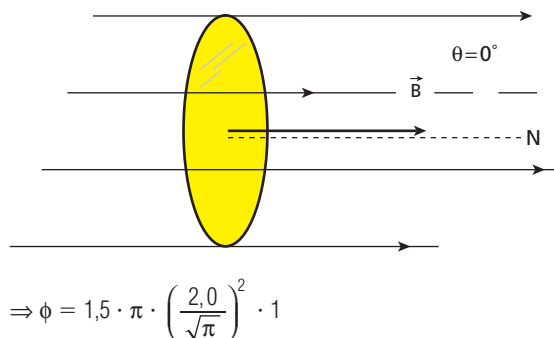
A quantidade de linhas de indução através da espira variará se ela girar em torno de um eixo passando pelo lado AD ou pelo lado BC.

Resposta: e

12.

a)

$\Rightarrow \boxed{\phi = 0}$

b)

$$\Rightarrow \phi = 1{,}5 \cdot \pi \cdot \left(\frac{2{,}0}{\sqrt{\pi}}\right)^2 \cdot 1$$

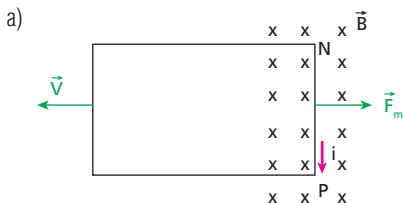
$$\boxed{\phi = 6{,}0 \text{ Wb}}$$

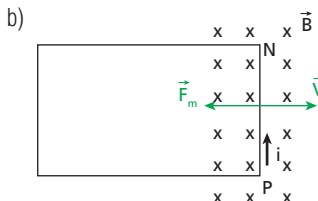
c) $\phi = 1{,}5 \cdot \pi \left(\frac{2{,}0}{\sqrt{\pi}}\right)^2 \cdot 0{,}60 \Rightarrow \boxed{\phi = 3{,}6 \text{ Wb}}$

Respostas: a) Zero; b) 6,0 Wb; c) 3,6 Wb

13.

Devemos, em cada situação, determinar o sentido da corrente induzida e usar a regra da mão direita espalmada.

a)

A força magnética tem o sentido do eixo **x**.

b)

A força magnética tem sentido oposto ao do eixo **x**.

Podemos concluir que: se a variação de fluxo é causada por movimento, surge uma força magnética que se opõe a esse movimento.

c) Como não existe corrente induzida, a força magnética é nula.

Respostas: a) Sentido do eixo **x**; b) Sentido oposto ao do eixo **x**; c) A força magnética é nula.

14.

a) Imediatamente após o fechamento da chave, o enrolamento S_1 introduz em S_2 um fluxo "da esquerda para a direita". Surge, então, em S_2, uma corrente induzida que gera fluxo "da direita para a esquerda". Essa corrente, então, percorre **R** de **A** para **B**.

b) Não havendo variação de fluxo através de S_2, não há corrente induzida.

c) Imediatamente após a abertura da chave, S_2 percebe o desaparecimento de um fluxo "da esquerda para a direita". A corrente induzida gera, então, fluxo "da esquerda para a direita", percorrendo **R** de **B** para **A**.

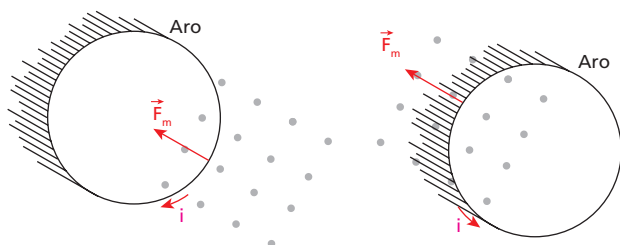
Respostas: a) De **A** para **B**; b) Não há corrente em **R**; c) De **B** para **A**.

15.

Resolução 1:

Quando o aro passa pela região onde existe campo magnético, surge nele uma corrente induzida. Então, pelo efeito Joule, ele se aquece, mesmo que ligeiramente. A energia térmica que provoca esse aquecimento corresponde a uma perda de energia cinética do aro. Portanto, t_2 é maior que t_1.

Resolução 2:

Ao penetrar no campo magnético e ao sair dele, surge no anel uma corrente elétrica induzida. Consequentemente, o aro submete-se a forças magnéticas que se opõem à sua descida (regra da mão direita espalmada), como já era previsto.

Resposta: t_2 é maior que t_1.

16.

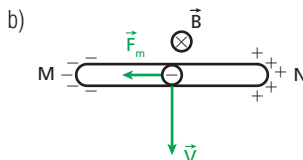
As correntes de Foucault provocam a conversão de energia mecânica em energia térmica. Com isso, a placa de cobre rapidamente para de oscilar. Novamente, o fenômeno pode ser explicado pelas forças magnéticas que se opõem ao movimento responsável pela variação de fluxo.

Resposta: c

Página 308

17.

a) $|\varepsilon| = B\,\ell\,v = 0{,}50 \cdot 1{,}0 \cdot 100 \Rightarrow \boxed{|\varepsilon| = 50\text{ V}}$

b)

Respostas: a) 50 V; b) M: negativa; N: positiva.

18.

$|\varepsilon| = B_{vertical}\,\ell\,v = 2{,}0 \cdot 10^{-5} \cdot 20 \cdot 250 \Rightarrow \boxed{|\varepsilon| = 0{,}10\text{ V} = 100\text{ mV}}$

Resposta: 100 mV

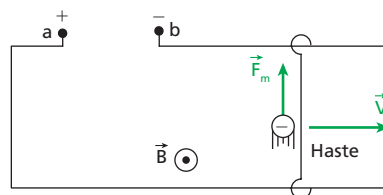
20.

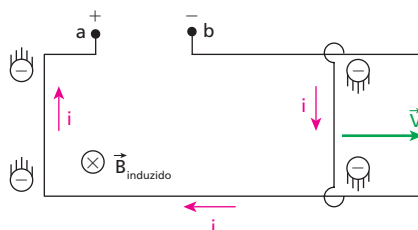
a) $\varepsilon_m = -\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\dfrac{(2-5)}{5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_m = 60\text{ V}}$

b) Pelo fato de ter ocorrido uma redução do fluxo indutor, a fem induzida surgiu para criar fluxo induzido "a favor do indutor" (Lei de Lenz).

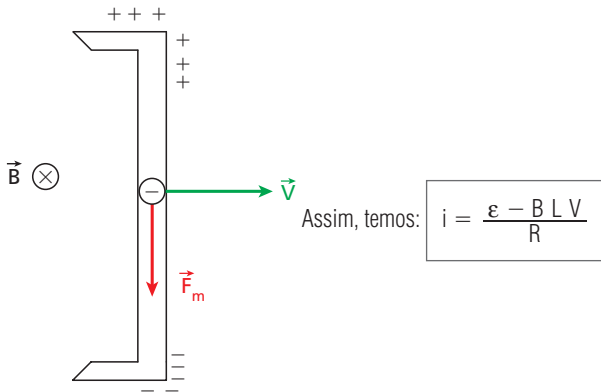
Respostas: a) 60 V; b) a força eletromotriz induzida surge para gerar fluxo induzido "**a favor** do indutor": fem é **positiva**.

21.

$|\varepsilon| = B\,\ell\,v$

$|\varepsilon| = 0{,}50 \cdot 8{,}0 \cdot 10^{-2} \cdot 2{,}0 \Rightarrow \boxed{|\varepsilon| = 8{,}0 \cdot 10^{-2}\text{ V}}$

- Ao se iniciar o movimento da haste, seus elétrons livres submetem-se a forças magnéticas que os deslocam para cima, polarizando negativamente o terminal **b**. Com isso, o terminal **a** polariza-se positivamente.
- Vamos investigar a polarização dos terminais de uma outra maneira. Notemos que o fluxo de $\vec{B}$, "saindo do papel", está aumentando. Embora o circuito esteja aberto, no início do movimento da haste existiu uma corrente elétrica transitória que causou um fluxo induzido "entrando no papel" (Lei de Lenz):

Resposta: e

23.

Em virtude da indução eletromagnética, existe uma força eletromotriz induzida entre as extremidades do lado direito da espira, de módulo igual a B L V, que se opõe à força eletromotriz da bateria (é uma força contraeletromotriz):

Resposta: b

24.

a = 0,20 m

R = 2,0 Ω

v = 10 m/s

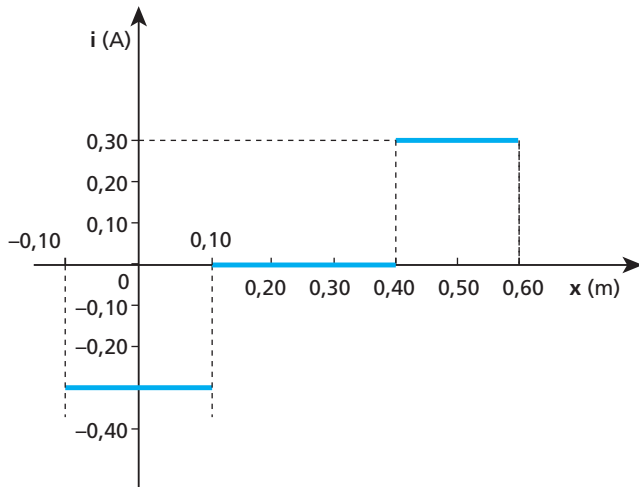
b = 0,50 m

B = 0,30 T

- Enquanto a espira penetra no campo, seu centro se desloca de x = −0,10 m até x = +0,10 m. Como o fluxo indutor "entrando no papel" aumenta, surge na espira uma corrente induzida no sentido anti-horário para gerar um fluxo induzido "saindo do papel".

  $$i = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{B\,a\,v}{R} = \frac{0{,}30 \cdot 0{,}20 \cdot 10}{2{,}0} \Rightarrow i = 0{,}30\ A$$

  Pela convenção de sinais estabelecida:
  i = −0,30 A
- Enquanto o centro da espira se desloca de x = +0,10 m até x = +0,40 m, ela está totalmente imersa no campo. Por isso, não há variação do fluxo indutor e a corrente induzida é nula.
- Enquanto a espira sai do campo, seu centro se desloca de x = +0,40 m até x = +0,60 m. Como o fluxo indutor "entrando no papel" diminui, surge nela uma corrente induzida no sentido horário para gerar um fluxo induzido "entrando no papel": i = +0,30 A.

Resposta:

26.

a) $\phi_1 = B_1\,A = 0{,}20 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2}$

$$\boxed{\phi_1 = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ Wb}$$

$\phi_2 = B_2\,A = 1{,}4 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2}$

$$\boxed{\phi_2 = 1{,}4 \cdot 10^{-2}\ Wb}$$

b) $\varepsilon_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{12 \cdot 10^{-3}}{2{,}0}$

$$\boxed{\varepsilon_m = -6{,}0\ m\,V}$$

c) O fluxo induzido "entra no papel". Assim, a corrente elétrica induzida percorre **R** da direita para a esquerda.

d) $|\varepsilon_m| = R\,i_m \Rightarrow 6{,}0 \cdot 10^{-3} = 2{,}0 \cdot 10^{-3}\ i_m$

$$\boxed{i_m = 3{,}0\ A}$$

Respostas: a) $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ Wb e $1{,}4 \cdot 10^{-2}$ Wb, respectivamente; b) −6,0 m V; c) Da direita para a esquerda; d) 3,0 A

27.

A = lado · lado ⇒ $A = (8{,}0 \cdot 10^{-2})^2$

$A = 6{,}4 \cdot 10^{-3}\ m^2$

a) $\phi = BA \cos\theta$

$\phi = 5{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot 6{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 1$

$$\boxed{\phi = 3{,}2 \cdot 10^{-5}\ Wb}$$

b) $|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t}$

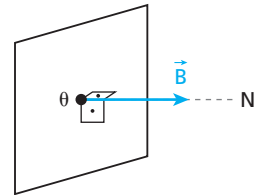
$\phi_{inicial} = 3{,}2 \cdot 10^{-5}$ Wb

$\phi_{final} = 0$

$\Delta\phi = 0 - 3{,}2 \cdot 10^{-5} \Rightarrow$

$\Rightarrow |\Delta\phi| = 3{,}2 \cdot 10^{-5}$ Wb

$|\varepsilon_m| = \frac{3{,}2 \cdot 10^{-5}}{0{,}10} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \boxed{|\varepsilon_m| = 3{,}2 \cdot 10^{-4}\ V}$$

Respostas: a) $3{,}2 \cdot 10^{-5}$ Wb; b) $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ V

28.

Em cada espira, temos:

$\phi_1 = B\,A = (1{,}2) \cdot (\pi\ 1{,}0 \cdot 10^{-4}) \Rightarrow$

$\Rightarrow \phi_1 = 1{,}2\ \pi\ 10^{-4}\ Wb \Rightarrow \phi_2 = 0$

$$\varepsilon_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{(0 - 1{,}2\ \pi\ 10^{-4})}{1{,}5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow \varepsilon_m = \frac{1{,}2\ \pi}{1{,}5} \cdot 10^{-2}\ V$$

Entre os terminais da bobina de 100 espiras, a força eletromotriz média induzida é dada por:

$$\varepsilon_{m_{total}} = 100\ \varepsilon_m = 100\ \frac{1{,}2\ \pi}{1{,}5}\ 10^{-2} \Rightarrow \varepsilon_{m_{total}} = 2{,}5\ V$$

Resposta: 2,5 V

29.

a) $A_e = \pi r_e^2 = 3 \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \Rightarrow A_e = 1,2 \cdot 10^{-3}\ m^2$

$$|\varepsilon| = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot A_e}{\Delta t} = \frac{(5 \cdot 10^{-4}) \cdot (1,2 \cdot 10^{-3})}{5 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{|\varepsilon| = 1,2 \cdot 10^{-5}\ V}$$

b) • $L = 2\pi r_e = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \Rightarrow L = 12 \cdot 10^{-2}\ m$

• $A = \pi r_f^2 = 3 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^2 \Rightarrow A = 3 \cdot 10^{-6}\ m^2$

• $R = \frac{\rho L}{A} = \frac{(2 \cdot 10^{-8}) \cdot (12 \cdot 10^{-2})}{3 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow R = 8 \cdot 10^{-4}\ \Omega$

• $i = \frac{|\varepsilon|}{R} = \frac{1,2 \cdot 10^{-5}}{8 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \boxed{i = 1,5 \cdot 10^{-2}\ A}$

Resposta: a) $1,2 \cdot 10^{-5}$ V; b) $1,5 \cdot 10^{-2}$ A

30.

• Do gráfico: $t = 1,6 \cdot 10^{-2}\ s = 16 \cdot 10^{-3}\ s \Rightarrow \phi = 8 \cdot 10^{-3}\ Wb$

$\phi = BA \Rightarrow 8 \cdot 10^{-3} = B \cdot (0,10)^2 \Rightarrow \boxed{B = 0,8\ T}$

• $\varepsilon_m = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -\frac{8 \cdot 10^{-3} - 0}{1,6 \cdot 10^{-2} - 0} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_m = -5 \cdot 10^{-1}\ V}$

• $i_m = \frac{|\varepsilon_m|}{R} = \frac{5 \cdot 10^{-1}}{20} \Rightarrow \boxed{i_m = 0,025\ A}$ (de **A** para **B**)

Resposta: d

32.

a) $|\varepsilon| = B \ell v = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 10 \Rightarrow |\varepsilon| = 20\ V$

b) Como está diminuindo o fluxo de $\vec{B}$ "para cima", surge corrente que percorre a barra MN **de N** para **M**, a fim de gerar fluxo "para cima".

c) $|\varepsilon| = R\,i \Rightarrow 20 = 1,0\ i \Rightarrow i = 20\ A$

d) $F_m = B\,i\,\ell = 2,0 \cdot 20 \cdot 1,0 \Rightarrow F_m = 40\ N$

Essa força atua na barra da esquerda para a direita.

e) MRU: $P_A = F_m \Rightarrow P_A = 40\ N$

f) $Pot = R\,i^2 = 1,0 \cdot 20^2 \Rightarrow Pot = 4,0 \cdot 10^2\ W$

g) $Pot = P_A\,v = 40 \cdot 10 \Rightarrow Pot = 4,0 \cdot 10^2\ W$

Respostas: a) 20 V; b) De **N** para **M**; c) 20 A; d) 40 N, da esquerda para a direita; e) 40 N; f) $4,0 \cdot 10^2$ W; g) $4,0 \cdot 10^2$ W

Página 315

34.

a) $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{U_2} = \frac{400}{1800} \Rightarrow U_2 = 330\ V$

$U_2 = R\,I_2 \Rightarrow 330 = 165\ I_2 \Rightarrow \boxed{I_2 = 2\ A}$

b) $U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow 110\ I_1 = 330 \cdot 2 \Rightarrow \boxed{I_1 = 6\ A}$

Respostas: a) 2 A; b) 6 A

35.

A corrente elétrica no primário será contínua e constante. Assim não haverá variação de fluxo magnético e, consequentemente, a tensão induzida no secundário será nula.

Resposta: Zero.

36.

I) Correta.

II) Incorreta. O transformador só funciona se a corrente no primário for variável.

III) Incorreta. O transformador jamais poderia ser um elevador de potência. No caso ideal, ele entrega ao secundário uma potência igual à recebida no primário.

Resposta: c

37.

• $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{U_2} = \frac{400}{100} \Rightarrow \boxed{U_2 = 27,5\ V}$

• $\frac{U_1}{U_3} = \frac{N_1}{N_3} \Rightarrow \frac{110}{U_3} = \frac{400}{20} \Rightarrow \boxed{U_3 = 5,5\ V}$

• $\frac{U_1}{U_4} = \frac{N_1}{N_4} \Rightarrow \frac{110}{U_4} = \frac{400}{8} \Rightarrow \boxed{U_4 = 2,2\ V}$

Resposta: $U_2 = 27,5$ V; $U_3 = 5,5$ V; $U_4 = 2,2$ V

38.

O fluxo magnético gerado pela bobina percorre a armação de ferro, atravessando a calha de alumínio. Esse fluxo, por ser variável, induz uma corrente elétrica na calha, o que provoca o aquecimento da água por efeito Joule. Portanto, a temperatura da água passará a aumentar.

Resposta: Passará a aumentar.

39.

- Quando se fecha ou se abre a chave, ocorre uma momentânea variação de fluxo magnético no enrolamento **B**, surgindo nele uma corrente induzida transitória. Enquanto a chave permanece fechada ou aberta, porém, não há variação de fluxo nem corrente induzida em **B**.
- Quando se fecha ou se abre a chave, a força eletromotriz induzida em **B** é tanto mais intensa quanto maior é a sua quantidade de espiras, como acontece num transformador.
- No fechamento e na abertura da chave as polaridades elétricas dos terminais de **B** se invertem. Com isso, as correntes transitórias induzidas em **B** nessas duas ocasiões têm sentidos contrários.

Portanto, estão corretas as afirmações I e IV.

Resposta: I e IV

Página 319

41.

$$L = \frac{\mu_0 n^2 A}{\ell} = \frac{(4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot (2\,000)^2 \cdot (5,0 \cdot 10^{-4})}{20 \cdot 10^{-2}}$$

$\boxed{L = 1,3 \cdot 10^{-2}\ H = 13\ mH}$

Resposta: 13 mH

42.

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{N\,B\,A}{i} = \frac{(1000)\cdot(1{,}0\cdot10^{-3})\cdot(10^{-3})}{0{,}2}$$

$$\boxed{L = 5\cdot10^{-3}\,H = 5\,mH}$$

Resposta: 5

43.

- $\phi = L\,i \Rightarrow |\Delta\phi| = L\,|\Delta i|$, em que **L** é uma constante.
- $\varepsilon = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = \frac{L\,|\Delta i|}{\Delta t} = \frac{0{,}25\cdot20}{0{,}2} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = 25\,V}$

Resposta: 25 V

44.

Primeiro solenoide:
- autoindutância **L**
- **n** espiras
- comprimento ℓ
- seção transversal de área **A**

$$B = \mu\,\frac{n}{\ell}\,i$$

$$\phi = n\,B\,A = n\frac{\mu\,n\,i}{\ell}A$$

$$L = \frac{\phi}{i} = \frac{\mu\,n^2\,A}{\ell}$$

Segundo solenoide:
- autoindutância L'
- $n' = \frac{n}{2}$ espiras
- comprimento $\ell' = 0{,}15\,\ell$
- seção transversal de área $A' = 1{,}5\,A$

$$L' = \frac{\mu\,n'^2\,A'}{\ell'} = \frac{\mu\left(\frac{n}{2}\right)^2(1{,}5\,A)}{0{,}15\,\ell} = 2{,}5\,\frac{\mu\,n^2 A}{\ell}$$

$$\boxed{L' = 2{,}5\,L}$$

Resposta: c

45.

No ponto 1 porque, à medida que a carga do capacitor aumenta, tendendo ao valor final C ε, a corrente no circuito tende a zero.

Resposta: No ponto 1.

46.

a) $B = \frac{\mu_0\,n\,i}{\ell} = \frac{4\,\pi\,10^{-7}\,(5\cdot400)\,10}{0{,}50} \Rightarrow B = 0{,}05\,T$

b) $\phi = B\,A\cos\theta = B\;\pi\,r^2\cdot\cos 0° \Rightarrow \phi = 0{,}05\;\pi\left(\frac{4}{\sqrt{\pi}}\;10^{-2}\right)^2\cdot1$

$\phi = 8\cdot10^{-5}\,Wb$

Respostas: a) 0,05 T; b) $8\cdot10^{-5}$ wb

47.

a) Durante o movimento de descida de **P** até **Q**, o fluxo do vetor indução magnética através do aro, "da esquerda para a direita", aumenta. Então, a corrente induzida nele tem sentido anti-horário, gerando assim um fluxo induzido da "direita para a esquerda".

b) Durante o movimento de subida de **Q** até **R**, o fluxo de $\vec{B}$ através do aro, "da esquerda para a direita", diminui. Com isso, a corrente induzida nele tem sentido horário, gerando assim um fluxo induzido também "da esquerda para a direita".

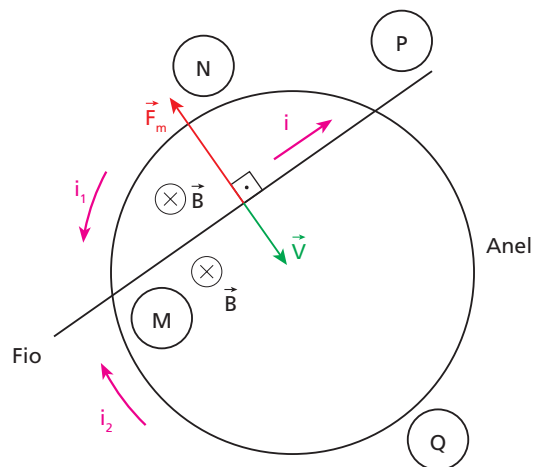
Respostas: a) Anti-horário; b) Horário.

48.

A corrente **I** produz um campo magnético, polarizando magneticamente as faces da espira, que, por isso, interage com o ímã. O ímã, por sua vez, por estar em movimento, produz uma variação de fluxo de indução através da espira, o que acarreta nela uma corrente induzida, modificando a corrente total.

Resposta: d

49.

Vamos supor o fio e o anel condutores e que $\vec{B}$ seja perpendicular ao plano da figura, entrando nele, como vemos abaixo.

O fio e o anel definem duas espiras: MNP e MQP.

Na espira MNP, o fluxo indutor "entrando no plano da figura" está aumentando. Então, existe nessa espira uma corrente induzida de intensidade i_1, no sentido indicado.

Na espira MQP, o fluxo indutor está diminuindo. Por isso, a corrente induzida nela, de intensidade i_2, tem o sentido indicado. No fio, a corrente tem sentido de **M** para **P** e intensidade $i = i_1 + i_2$.

Em virtude da força magnética $\vec{F}_m$ o movimento do fio é retardado e ele pode parar.

Resposta: d

50.

Durante o movimento do ponteiro, aumenta o fluxo indutor dirigido para fora da região AMN. Por isso, a corrente elétrica induzida gera um fluxo induzido dirigido para dentro dessa região, tendo sentido de **M** para **A**.

Durante uma volta (5 s), a área da espira AMN sofre uma variação ΔA, dada por:

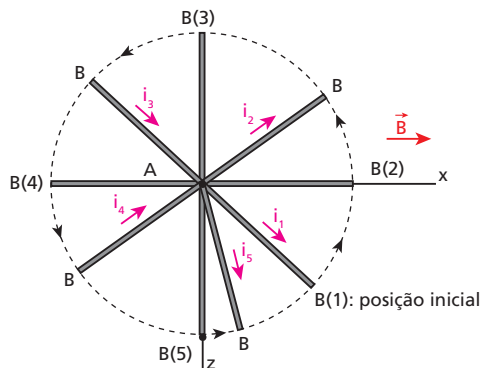
$\Delta A = \pi\,\overline{MN}^2 = 3{,}14\,(0{,}4)^2 \Rightarrow \Delta A = 0{,}5\,m^2$

Temos, então:

$$|\varepsilon| = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = \frac{B\,\Delta A}{\Delta t} = \frac{0{,}5\cdot0{,}5}{5} \Rightarrow |\varepsilon| = 0{,}05\,V$$

Respostas: a) 0,05 V; b) De **M** para **A**

51.

A figura representa o lado superior da espira vista de cima.

- De (1) para (2), o fluxo de $\vec{B}$ ("para a direita") diminui. A corrente i_1 gera fluxo também "para a direita".
- De (2) para (3), o fluxo de $\vec{B}$ ("para a direita") aumenta. Por isso, a corrente i_2 gera fluxo "para a esquerda".
- De (3) para (4), o fluxo $\vec{B}$ ("para a direita") diminui e a corrente i_3 gera fluxo "para a direita".
- De (4) para (5), o fluxo $\vec{B}$ ("para a direita") aumenta e a corrente i_4 gera fluxo "para a esquerda".
- De (5) para (1), o fluxo $\vec{B}$ ("para a direita") diminui e a corrente i_5 gera fluxo "para a direita".

Notemos que, no ciclo, o sentido da corrente na espira sofreu duas inversões.

Resposta: b

52.

- Em **A**: $\phi = 0$ e $\Delta\phi = 0 \Rightarrow \boxed{\varepsilon_m = 0}$
- Em **B**: $|\varepsilon_m| = \dfrac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = \dfrac{\Delta B \cdot \text{Área}}{\Delta t} = \dfrac{\dfrac{\mu_0\ \Delta I}{2\ \pi\ d} \cdot \text{Área}}{\Delta t}$

$$|\varepsilon_m| = \frac{\mu_0\ \Delta I \cdot \text{Área}}{2\ \pi\ d\ \Delta t} = \frac{(4\ \pi \cdot 10^{-7}) \cdot (10\,000) \cdot (1)}{(2\ \pi) \cdot (400) \cdot (50 \cdot 10^{-6})}$$

$$\boxed{|\varepsilon_m| = 0{,}1\ V}$$

Resposta: Em **A**: zero; em **B**: 0,1 V.

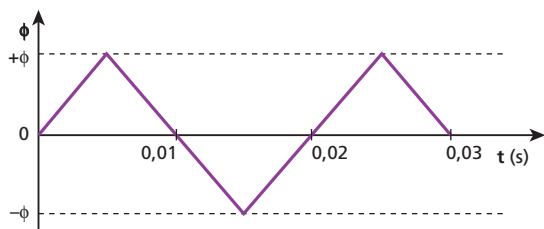
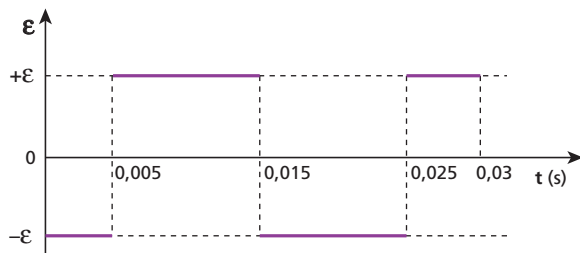
53.

a) Como $f = \dfrac{1}{T}$ e $T = 0{,}02$ s, temos:

$$f = \frac{1}{0{,}02} \Rightarrow f = 50\ Hz$$

b) $\phi = B\,A = \dfrac{\mu\ i}{2\ \pi\ r} \cdot A = \dfrac{\mu\ A}{2\ \pi\ r}\ i = k\,i$

constante k

O valor de ϕ foi considerado positivo quando $i > 0$. Portanto, será negativo para $i < 0$.

c) $\varepsilon = -\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$:

Respostas: a) 50 Hz; b) e c) Veja os gráficos na resolução.

54.

Temos que:

- $|\varepsilon| = L\dfrac{|\Delta i|}{\Delta t} \Rightarrow L = \dfrac{|\varepsilon|\Delta t}{|\Delta i|} \Rightarrow \text{henry} = \dfrac{\text{volt} \cdot \text{segundo}}{\text{ampère}}$
- $U = R\,i \Rightarrow R = \dfrac{U}{i} \Rightarrow \text{ohm} = \dfrac{\text{volt}}{\text{ampère}}$

Vamos então determinar a unidade de medida da constante de tempo $\dfrac{L}{R}$:

$$\frac{\text{henry}}{\text{ohm}} = \frac{\text{volt} \cdot \text{segundo}}{\text{ampère}} \cdot \frac{\text{ampère}}{\text{volt}} = \text{segundo}$$

Resposta: Demonstração.

55.

A fem induzida aparece porque os elétrons livres se submetem a forças magnéticas que os deslocam para uma das extremidades da haste. Entretanto, só a componente de $\vec{v}$, perpendicular a $\vec{B}$, contribuiu para o surgimento dessas forças.

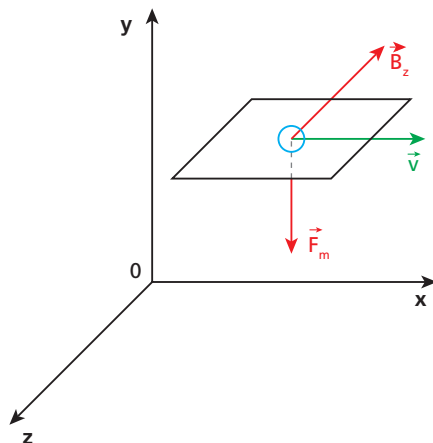
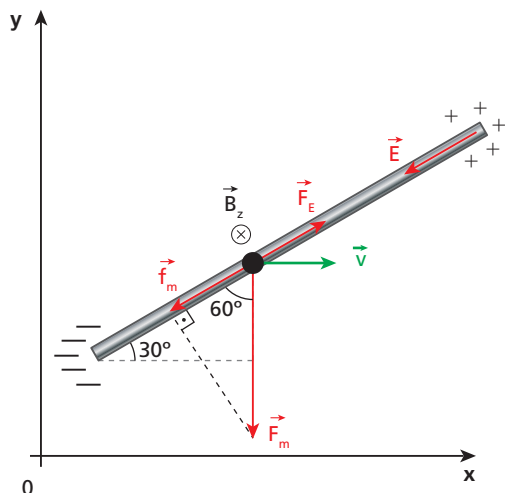
Por isso:

$|\varepsilon| = B\,L\,v_\perp \Rightarrow \boxed{|\varepsilon| = B\,L\,v \text{ sen } \theta}$

Note que, se $\vec{v}$ e $\vec{B}$ tivessem mesma direção, teríamos sen $\theta = 0$ e $|\varepsilon| = 0$.

Resposta: B L v sen θ

56.

Devido a $\vec{B}_z$, em cada elétron livre presente na haste atua uma força magnética $\vec{F}_m$ que tem, na direção da haste, uma componente $\vec{f}_m$, de módulo igual a $F_m \cdot \cos 60^\circ$:

Com isso, os elétrons livres se deslocam ao longo da haste e suas extremidades vão se eletrizando. Consequentemente, surge um campo elétrico $\vec{E}$, de intensidade crescente, no interior dela.

Quando a força elétrica $\vec{F}_e$, devida a $\vec{E}$, equilibra $\vec{f}_m$, cessa o deslocamento de elétrons ao longo da haste:

$$f_m = F_e \Rightarrow F_m \cdot \cos 60° = F_e \Rightarrow |q|\, v\, B_z \cdot \cos 60° = |q|\, E = |q|\, \frac{\varepsilon}{\ell}$$

$$|\varepsilon| = \ell\, v\, B_z \cdot \cos 60° = (20{,}0 \cdot 10^{-2}) \cdot (5{,}0) \cdot (0{,}50) \cdot \frac{1}{2}$$

$$\boxed{|\varepsilon| = 0{,}25\ \text{V}}$$

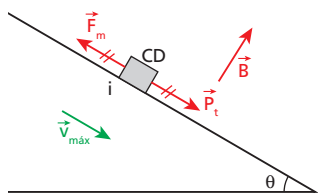
Resposta: a.

57.

Durante a descida da haste CD, a área da espira ABCD diminui, diminuindo, assim, o fluxo de $\vec{B}$ através dela. Por isso, surge uma corrente elétrica induzida (i) na espira, para gerar fluxo induzido “a favor” do fluxo indutor. Essa corrente percorre CD, de **D** para **C**.

A força eletromotriz induzida (ε), responsável pela citada corrente, é proporcional à velocidade da haste (**v**):

$\varepsilon = B\, \ell\, v$

Assim, à medida que **v** aumenta, ε também aumenta, o mesmo ocorrendo com **i**. Consequentemente, a intensidade da força magnética sobre a haste CD (F_m) também aumenta. A velocidade máxima é atingida quando a força magnética equilibra a componente tangencial do peso ($\vec{P}_t$):

$$F_m = P_t \Rightarrow B\, i\, \ell = m\, g\, \text{sen}\, \theta \qquad \text{(I)}$$

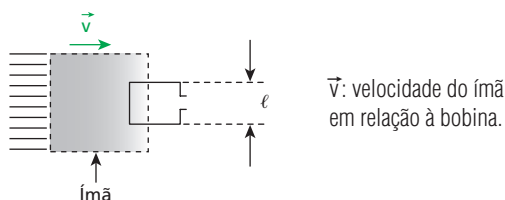
$$\varepsilon = B\, \ell\, v \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{B\, \ell\, v}{R} \qquad \text{(II)}$$

Substituindo (II) em (I), vem:

$$B\, \frac{B\, \ell\, v_{máx}}{R}\, \ell = m\, g\, \text{sen}\, \theta$$

$$\boxed{v_{máx} = \frac{m\, g\, R\, \text{sen}\, \theta}{B^2\, \ell^2}}$$

Resposta: $\dfrac{m\, g\, R\, \text{sen}\, \theta}{B^2\, \ell^2}$

58.

$\vec{v}$: velocidade do ímã em relação à bobina.

- $R = 30\ \text{cm} = 0{,}30\ \text{m}$

  $V = 36\ \text{km/h} = 10\ \text{m/s}$

  $V = \omega_{roda}\, R \Rightarrow 10 = \omega_{roda} \cdot 0{,}30 \Rightarrow \omega_{roda} = \dfrac{10}{0{,}30}\ \text{rad/s}$

- $r = 15\ \text{cm} = 0{,}15\ \text{m}$

  $v = \omega_{roda}\, r = \dfrac{10}{0{,}30} \cdot 0{,}15 \Rightarrow v = 5\ \text{m/s}$

- $A = 25\ \text{mm}^2 \Rightarrow \ell = 5\ \text{mm} = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$

  $B = 0{,}2\ \text{T}$

  $v = 5\ \text{m/s}$

  $n = 20$ espiras

  $|\varepsilon|_{máx} = n\, B\, \ell\, v = 20 \cdot 0{,}2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \Rightarrow \boxed{|\varepsilon|_{máx} = 1 \cdot 10^{-1}\ \text{V}}$

Resposta: d

59.

a) Calculemos a área (**A**) de cada espira:

$$A = \pi\, R^2 = \pi \left(\frac{10}{\sqrt{\pi}}\, 10^{-2}\right)^2 \Rightarrow A = 1{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2$$

Calculemos os fluxos de indução inicial e final através de cada espira:

$\phi_i = B_i\, A = 0\, A \Rightarrow \phi_i = 0$

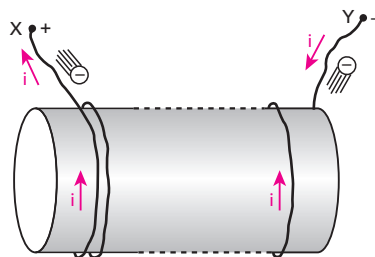
$\phi_f = B_f\, A = 4{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \phi_f = 4{,}0 \cdot 10^{-2}\ \text{Wb}$

A força eletromotriz média induzida em cada espira é dada, em valor absoluto, por:

$$|\varepsilon_m| = \frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = \frac{4{,}0 \cdot 10^{-2}}{0{,}10} \Rightarrow \boxed{\varepsilon_m = 0{,}40\ \text{V}}$$

b) Entre os pontos **X** e **Y** temos 100 espiras.

$$|\varepsilon_{m_{XY}}| = 100\, |\varepsilon_m| = 100 \cdot 0{,}40 \Rightarrow \boxed{|\varepsilon_{m_{XY}}| = 40\ \text{V}}$$

c) Embora o circuito esteja aberto, uma corrente transitória circula no solenoide durante a variação de $\vec{B}$. Como o fluxo de $\vec{B}$ (“para a direita”) cresceu, essa corrente gerou fluxo “para a esquerda” (Lei de Lenz):

Portanto, as polaridades elétricas de **X** e **Y**, durante a variação de $\vec{B}$, são positiva e negativa, respectivamente.

Respostas: a) 0,40 V b) 40 V; c) **X**: positiva; **Y**: negativa.

60.

a) L_2 brilha mais porque a corrente nela atinge o valor normal quase instantaneamente.

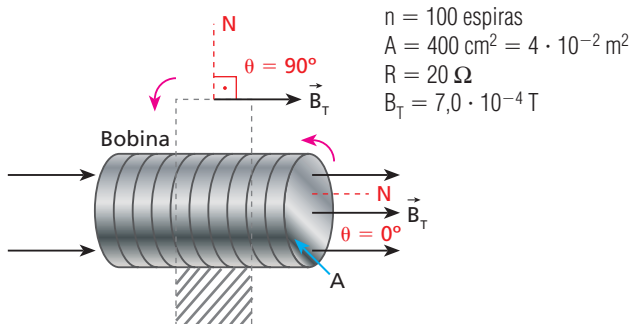
A corrente em L_1 demora mais para atingir o valor normal porque seu crescimento é retardado pela força eletromotriz autoinduzida na bobina.

b) Os brilhos são iguais.
Sendo ε a força eletromotriz do gerador e desprezando sua resistência interna, as correntes nas duas lâmpadas atingirão o mesmo valor $\frac{\varepsilon}{r + R_L}$ em que R_L é a resistência de cada lâmpada.

c) Devido à força eletromotriz autoinduzida na bobina, uma corrente de intensidade decrescente, igual nas duas lâmpadas, persistirá por algum tempo. Portanto, os brilhos das lâmpadas serão iguais, diminuindo até que se apaguem.

Respostas: a) L_2 brilha mais que L_1; b) Os brilhos são iguais; c) Os brilhos são iguais e diminuem até que as lâmpadas se apaguem.

61.

n = 100 espiras
A = 400 cm² = $4 \cdot 10^{-2}$ m²
R = 20 Ω
$B_T = 7{,}0 \cdot 10^{-4}$ T

De 0° a 90°:

$$|\varepsilon_m| = n\frac{|\Delta\phi|}{\Delta t} = n\frac{B_T A|\Delta \cos\theta|}{\Delta t} = R\,i_m = R\frac{|\Delta q|}{\Delta t}$$

$$|\Delta q| = \frac{n B_T A\ |\Delta \cos\theta|}{R} = \frac{100 \cdot 7{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 1}{20}$$

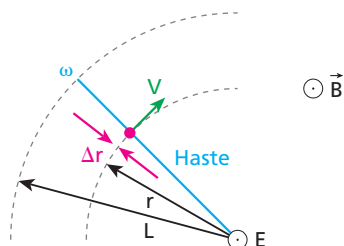
$|\Delta q| = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ C

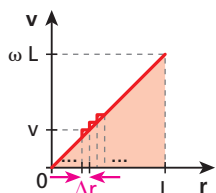
De 0° a 180°:

$|\Delta q|_{total} = 2\ |\Delta q| \Rightarrow \boxed{|\Delta q|_{total} = 2{,}8 \cdot 10^{-4}\ C}$

Resposta: b.

62.

A velocidade angular da haste, ω, é constante e igual em qualquer trecho dela, mas a velocidade linear **v** é variável de **0** a ω L (lembrar que v = ω r). Por isso, só podemos usar a expressão B ℓ v em trechos Δr elementares (Δr → 0).

No trecho elementar da haste, **Δr**, que gira com velocidade linear **v**, o módulo da fem induzida é dado por B Δr v e, na haste toda, por:

$\varepsilon = \sum(B\ \Delta r\ v) = B\ \sum(v\ \Delta r)$, pois **B** é uma constante.

$\sum(v\ \Delta r)$ é a soma das "áreas" de todos os retângulos de r = 0 até r = L, que é igual à área do triângulo, já que Δr é elementar.

Então, $\sum(v\ \Delta r) = \frac{L(\omega L)}{2} = \frac{\omega L^2}{2}$ e:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{B\omega L^2}{2}}$$

f = 1 500 rpm = 25 Hz, ω = 2 π f = 2 · 3 · 25 Hz
ω = 150 rad/s
L = 0,2 m
B = 0,5 T

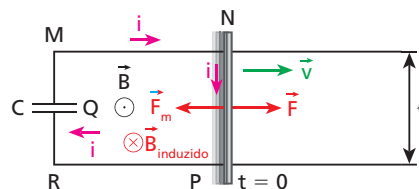
$$\varepsilon = \frac{0{,}5 \cdot 150 \cdot 0{,}04}{2} \Rightarrow \boxed{\varepsilon = 1{,}5\ V}$$

Nota: a expressão de **ε**, para estudantes que tenham conhecimentos básicos de cálculo integral, poderia, equivalentemente, ser obtida assim:
dε = B dr v = B dr ω r = B ω r dr

$$\varepsilon = \int_{r=0}^{r=L} B\omega r\,dr = B\omega\left[\frac{r^2}{2}\right]_0^L = \frac{B\omega L^2}{2}$$

Resposta: 1,5 V

63.

a) Em um instante **t**, temos:

- Fluxo de $\vec{B}$ (⊙) aumenta na espira MNPR ⇒ $\vec{B}_{induzido}$ (⊗)
- ε = B ℓ v
- Q = C ε = B ℓ C v
- $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{B\ell C\Delta v}{\Delta t} = \frac{B\ell C v}{t} = B\ell C a$
- $F_m = B\,i\,\ell = B^2\ell^2 Ca$
- $F - F_m = ma \Rightarrow F - B^2\ell^2 C a = ma$

$$\boxed{a = \frac{F}{m + B^2\ell^2 C}}$$ (constante e diferente de zero)

b) $\tau_F = F d = (m a + B^2 \ell^2 C a)\,d$

$$\boxed{\tau_F = \underbrace{m a d}_{I} + \underbrace{B^2\ \ell^2\ C a d}_{II}}$$

- Significado da parcela (I):

MUV ⇒ $v^2 = 2 a \Delta s = 2 a d \Rightarrow a d = \frac{v^2}{2}$

Portanto: $m a d = \frac{m v^2}{2}$ é a energia cinética fornecida à haste.

- Significado da parcela (II):

$$B^2\ell^2 C a d = \frac{B^2\ell^2 C v^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

Portanto, essa parcela é a energia potencial elétrica armazenada no capacitor.

Respostas: a) $\frac{F}{m + B^2\ell^2 C}$; b) $m a d + B^2\ell^2 C a d$ = energia cinética fornecida à haste + energia potencial elétrica armazenada no capacitor.

Unidade IV – FÍSICA MODERNA

Tópico 1 – Noções de Física Quântica

Página 332

1. Resposta:
Quando atingem o alvo, os elétrons sofrem grande desaceleração. Com isso, perdem energia cinética e emitem ondas eletromagnéticas, no caso, raios X.

2. A luz, como qualquer outra onda eletromagnética, não interage com campos elétricos nem com campos magnéticos, ao contrário do que acontece com partículas eletrizadas.

Resposta: a

3.

a) $v_p \leqslant v_r$, pois o efeito não foi observado.

$$n = \frac{c}{v_r} \Rightarrow v_r = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{1{,}33} \Rightarrow v_r = 2{,}26 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Portanto:

$$\boxed{v_P \leqslant 2{,}26 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$

b) $v_P = 2{,}35 \cdot 10^8$ m/s

$$v_r = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \cdot 10^8}{1{,}47} \Rightarrow v_r = 2{,}04 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

No mesmo intervalo de tempo Δt em que a radiação percorreu AB, a partícula percorreu AP:

$$\text{sen}\,\theta = \frac{AB}{AP} = \frac{v_r\,\Delta t}{v_p\,\Delta t} = \frac{v_r}{v_p} = \frac{2{,}04 \cdot 10^8}{2{,}35 \cdot 10^8} \cong 0{,}87 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\theta \cong 60°}$$

Respostas: a) $v_P \leqslant 2{,}26 \cdot 10^8$ m/s; b) $\theta \cong 60°$

5.

a) $\text{tg}\,\theta_p = \dfrac{1{,}5}{1{,}00} \Rightarrow 1{,}5 \Rightarrow \boxed{\theta_p \cong 56°}$

b) $\text{tg}\,\theta_p = \dfrac{1{,}33}{1{,}00} \Rightarrow 1{,}33 \Rightarrow \boxed{\theta_p \cong 53°}$

Respostas: a) $\cong 56°$; b) $\cong 53°$

6.

a) $I = \dfrac{I_0}{2} \cos^2 60° = \dfrac{I_0}{8} \Rightarrow \boxed{I = 0{,}125\, I_0}$

Resposta: e

7.

$$I_t = I_i \cos^2 60° \Rightarrow \boxed{\frac{I_t}{I_i} = \frac{1}{4}}$$

Resposta: c

8.

Sejam I_{LNP} a intensidade da luz não polarizada e **E** a amplitude do campo elétrico associado a essa luz:

$I_{LNP} = k\,E^2$

Sendo E_H e E_V as amplitudes das componentes horizontal e vertical desse campo, temos:

$I_{LNP} = k\,(E_H^2 + E_V^2)$

Como $E_H = 2\,E_V$:

$I_{LNP} = k\,(4\,E_V^2 + E_V^2) = 5\,k\,E_V^2$

Usando óculos:

$E_H = 0 \Rightarrow I = k\,E_V^2$

Portanto:

$I_{LNP} = 5\,I$ e $I = 0{,}2\,I_{LNP}$

$\boxed{I = 20\% \text{ de } I_{LNP}}$

Resposta: 20%

Página 337

9.

- $Pot = e\,\sigma\,A\,T^4 \Rightarrow T = \sqrt[4]{\dfrac{Pot}{e\,\sigma\,A}}$
- $A = 2\,\pi\,r\,\ell = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-2}$
  $A = 6{,}3 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2$
- Então:

$$T = \sqrt[4]{\frac{60}{(0{,}30) \cdot (5{,}7 \cdot 10^{-8}) \cdot (6{,}3 \cdot 10^{-5})}} \Rightarrow$$

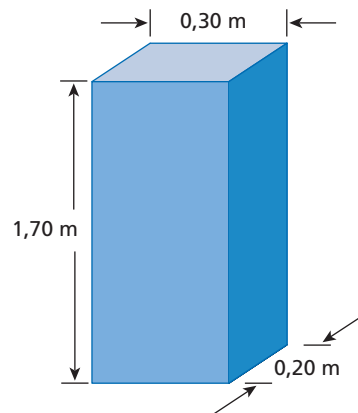
$$\Rightarrow \boxed{T = 2{,}7 \cdot 10^3 \text{ K}}$$

Resposta: $2{,}7 \cdot 10^3$ K

10.

a) Do gráfico: $f = 1{,}8 \cdot 10^{13}$ Hz

Como $\lambda = \dfrac{c}{f}$: $\lambda = \dfrac{3{,}0 \cdot 10^8}{1{,}8 \cdot 10^{13}} \Rightarrow \boxed{\lambda = 1{,}7 \cdot 10^{-5} \text{ m}}$

b)

- Para a estimativa da área, podemos considerar a pessoa como se fosse um prisma de 1,70 m de altura e base medindo 30 cm × 20 cm:

$$A = 2(0{,}20 \cdot 1{,}70) + 2(0{,}30 \cdot 1{,}70) + 2(0{,}20 \cdot 0{,}30) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{A \cong 2 \text{ m}^2}$$

- $P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow E = P\,\Delta t = \sigma\,A\,(T^4 - T_a^4)\,\Delta t$

  $E = (6 \cdot 10^{-8}) \cdot (2) \cdot (310^4 - 300^4) \cdot (9{,}0 \cdot 10^4)$

  $\boxed{E \cong 1{,}2 \cdot 10^7\ J}$

Respostas: a) $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ m; b) $\cong 2\ m^2$; $\cong 1{,}2 \cdot 10^7$ J

11.

Temos: $b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ mK

$\theta = 35\ °C \Rightarrow T = 35 + 273 \Rightarrow T = 308\ K$

Então, pela Lei de Wien:

$$\lambda_{l_{máx}} = \frac{b}{T} = \frac{2{,}9 \cdot 10^{-3}}{308} \Rightarrow \lambda_{l_{máx}} = 9{,}4 \cdot 10^{-6}\ m$$

Como $v = \lambda\,f$:

$$f = \frac{v}{\lambda_{l_{máx}}} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8}{9{,}4 \cdot 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{f = 3{,}2 \cdot 10^{13}\ Hz}$$

A frequência obtida é de uma radiação infravermelha.

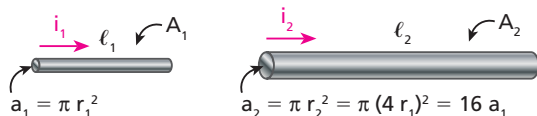
Resposta: $3{,}2 \cdot 10^{13}$ Hz

12.

$i_1 = 1$ A $i_2 = ?$

$r_1 = 1$ mm $r_2 = 4$ mm $= 4\,r_1$

$\ell_1 = 1$ cm $\ell_2 = 4$ cm $= 4\,\ell_1$

$\rho_1 = \rho$ (na temperatura de fusão I) $\rho_2 = \rho$ (na mesma temperatura I)

- Potência irradiada na temperatura I: $Pot_i = e\,\sigma\,AT^4 = k\,A$ (k é uma constante)

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= 2\,\pi\,r_1\,\ell_1 \\ A_2 &= 2\,\pi\,r_2\,\ell_2 = 2\,\pi\,4\,r_1\,4\,\ell_1 = 16\,A_1 \end{aligned}\right\} \Rightarrow Pot_{i_2} = 16\,Pot_{i_1}$$

- Relação entre as potências dissipadas (Pot_d): $Pot_{d_2} = 16\,Pot_{d_1}$

$$R_2\,i_2^2 = 16\,R_1\,i_1^2 \Rightarrow \frac{\rho\,\ell_2}{a_2}\,i_2^2 = 16\,\frac{\rho\,\ell_1}{a_1}\,i_1^2$$

$$\frac{\rho\,4\ell_1}{16\,a_1}\,i_2^2 = 16\,\frac{\rho\,\ell_1}{a_1}\,i_1^2$$

$$i_2^2 = 64\,i_1^2 \Rightarrow i_2 = 8\,i_1 = 8 \cdot 1\ A$$

$\boxed{i_2 = 8\ A}$

Resposta: e

Página 344

13.

Resposta: a

14. Estão corretas todas as afirmações.
Portanto, a resposta é 31.

Resposta: 31

16. 01. Correta.

- $E = h\,f = \frac{h\,c}{\lambda}$

  λ menor $\Rightarrow$ E maior $\Rightarrow$ E_c maior $\Rightarrow$ v maior.

02. Incorreta.
04. Incorreta.
08. Correta.
16. Incorreta.
    A intensidade só influi na quantidade de elétrons extraídos.
32. Correta.
    A energia **E** do fóton tem de ser maior ou igual (caso crítico) à função trabalho, que é uma característica do metal:

    $E \geq A \Rightarrow h\,f \geq h\,f_{mín} \Rightarrow f \geq f_{mín} \Rightarrow$

    $\Rightarrow \boxed{\lambda \leq \lambda_{mín}}$

Resposta: 41

17.

a) $E = h\,f = 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 7{,}7 \cdot 10^{14} \Rightarrow \boxed{E = 5{,}1 \cdot 10^{-19}\ J}$

b) $E = h\,f = 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 5{,}0 \cdot 10^{21} \Rightarrow \boxed{E = 3{,}3 \cdot 10^{-12}\ J}$

Respostas: a) $5{,}1 \cdot 10^{-19}$ J; b) $3{,}3 \cdot 10^{-12}$ J

18. $A = 4{,}2$ eV

$E_{c_{máx}} = 2{,}0$ eV

$E = E_{c_{máx}} + A = 2{,}0 + 4{,}2 \Rightarrow E = 6{,}2$ eV

1 eV $\rightarrow$ $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J

6,2 eV $\rightarrow$ E

$E = 9{,}92 \cdot 10^{-19}$ J

$E = h\,f = \frac{h\,c}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{h\,c}{E} = \frac{(6{,}6 \cdot 10^{-34}) \cdot (3{,}0 \cdot 10^8)}{9{,}92 \cdot 10^{-19}}$$

$\lambda \cong 2{,}0 \cdot 10^{-7}\ m = 2{,}0 \cdot 10^{-7}\ (10^{10}\ Å) \Rightarrow \lambda \cong 2{,}0 \cdot 10^3\ Å$

Resposta: a

19.

- $\lambda = 600\ nm = 600 \cdot 10^{-9}\ m = 6{,}00 \cdot 10^{-7}\ m$

  $Pot = 0{,}54$ W

  $$Pot = \frac{n\,E}{\Delta t} = \frac{n\,h\,f}{\Delta t} = \frac{n\,h\,c}{\Delta t\,\lambda} \Rightarrow \frac{n}{\Delta t} = \frac{\lambda\,Pot}{h\,c}$$

  $$\frac{n}{\Delta t} = \frac{6{,}00 \cdot 10^{-7} \cdot 0{,}54}{6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}0 \cdot 10^8} \Rightarrow$$

  $$\Rightarrow \boxed{\frac{n}{\Delta t} = 1{,}63 \cdot 10^{18}\ \text{fótons/s}}$$

- $A = 2{,}8\ eV = 4{,}48 \cdot 10^{-19}$ J

  $$A = h\,f_{mín} \Rightarrow f_{mín} = \frac{A}{h} = \frac{4{,}48 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}}$$

  $\boxed{f_{mín} = 6{,}8 \cdot 10^{14}\ Hz}$

Resposta: e

20.

Cada cm^2 da superfície recebe, em cada minuto, 2,0 cal:

$2{,}0\ cal = 2{,}0 \cdot 4{,}2\ J = 8{,}4\ J$

$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J — 1 eV
8,4 J — x

$\Rightarrow x = 5{,}25 \cdot 10^{19}$ eV

- $\lambda = 5\,800$ Å $= 5\,800 \cdot 10^{-10}$ m $= 5{,}8 \cdot 10^{-7}$ m

$$E = h\,f = \frac{h\,c}{\lambda}$$

$$E = \frac{(6{,}6 \cdot 10^{-34}) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8})}{5{,}8 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow E = 3{,}4 \cdot 10^{-19}\ J$$

$1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J — 1 eV

$3{,}4 \cdot 10^{-19}$ J — E $\Rightarrow$ $\boxed{E = 2{,}1\ eV}$

- Em cada minuto, 1 cm^2 da superfície recebe **n** fótons correspondentes à energia de $5{,}25 \cdot 10^{19}$ eV:

2,1 eV — 1 fóton

$5{,}25 \cdot 10^{19}$ eV — n fótons

$\boxed{n = 2{,}5 \cdot 10^{19}}$

Resposta: 2,1 e V; $2{,}5 \cdot 10^{19}$ fótons

21.

- Determinação de **h** (coeficiente angular da reta):

$$h = \frac{(2{,}6 - 2{,}0)\ eV}{(7{,}5 - 6{,}0) \cdot 10^{14}\ Hz} = \frac{0{,}6\ eV}{1{,}5 \cdot 10^{14}\ Hz}$$

- Usando, por exemplo, E_{c_1}, temos:

$$E_{c_1} = h\,f_1 - \tau \Rightarrow \tau = h\,f_1 - E_{c_1}$$

$$\tau = \frac{0{,}6\ eV}{1{,}5 \cdot 10^{14}\ Hz} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{14}\ Hz - 2{,}0\ eV \Rightarrow \boxed{\tau = 0{,}4\ eV}$$

Resposta: a

22.

- $V = 0{,}20\ mL = 0{,}20 \cdot 10^{-6}\ m^3$

$$\mu = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \mu V = (1{,}0 \cdot 10^3) \cdot (0{,}20 \cdot 20^{-6})$$

$m = 2{,}0 \cdot 10^{-4}$ kg

$\lambda = 7\,500$ Å $= 7\,500 \cdot 10^{-10}$ m $= 7{,}5 \cdot 10^{-7}$ m

- Número de fótons absorvidos num intervalo de tempo Δt:

$n = 1{,}0 \cdot 10^{18}\ \Delta t$

- Energia desses **n** fótons:

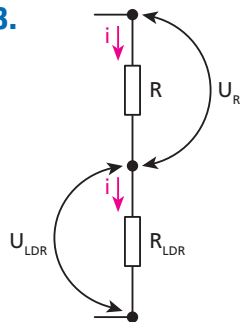
$$Q = n\,h\,f = 1{,}0 \cdot 10^{18}\ \Delta t\ h\,f = 1{,}0 \cdot 10^{18}\ \Delta t\ \frac{h\,c}{\lambda}$$

- $Q = m\,c_á\,\Delta\theta \Rightarrow 1{,}0 \cdot 10^{18}\ \Delta t\ \dfrac{h\,c}{\lambda} = m\,c_á\,\Delta\theta$

$$\Delta t = \frac{m\,c_á\,\Delta\theta\lambda}{1{,}0 \cdot 10^{18}\ h\,c} = \frac{(2{,}0 \cdot 10^{-4}) \cdot (4{,}2 \cdot 10^{3}) \cdot (1{,}0) \cdot (7{,}5 \cdot 10^{-7})}{(1{,}0 \cdot 10^{18}) \cdot (6{,}63 \cdot 10^{-34}) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8})}$$

$\boxed{\Delta t = 3{,}2\ s}$

Resposta: 3,2 s

23.

No claro: $R_{LDR} = 100\ \Omega$

$U_{LDR} << U_R$

$100\ \Omega \cdot i << R\,i \Rightarrow \boxed{R >> 100\ \Omega}$

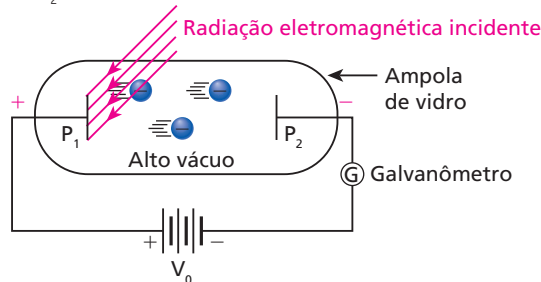
No escuro: $R_{LDR} = 1\ M\Omega$

$U_R << U_{LDR}$

$R\,i' << 1\ M\Omega \cdot i' \Rightarrow \boxed{R << 1\ M\Omega}$

Resposta: c

24.

Quando a corrente no galvanômetro se anula, os fotelétrons, ejetados da placa P_1 com energia cinética máxima E_{c_1}, chegam à placa P_2 com energia cinética E_{c_2} igual a zero:

Nessa situação, o módulo da ddp entre as placas, denominado "potencial" de corte, é igual a V_0.

Sendo **e** a carga elementar, temos, para um fotelétron que vai de P_1 a P_2:

$$\tau_{F_e} = E_{c_2} - E_{c_1}$$

$$-e\,V_0 = 0 - E_{c_1} \Rightarrow E_{c_1} = e\,V_0$$

- $E_{c_1} = h\,f - \tau \Rightarrow \boxed{e\,V_0 = h\,f - \tau}$

Para $f = 5{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz, $V_0 = 0{,}4$ V:

$(1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (0{,}4) = h\ (5{,}5 \cdot 10^{14}) - \tau$ (I)

Para $f = 7{,}0 \cdot 10^{14}$ Hz, $V_0 = 1{,}0$ V:

$(1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (1{,}0) = h\ (7{,}0 \cdot 10^{14}) - \tau$ (II)

Fazendo (II) – (I) , vem:

$(1{,}6 \cdot 10^{-19}) \cdot (0{,}6) = h\,(1{,}5 \cdot 10^{14}) \Rightarrow \boxed{h = 6{,}4 \cdot 10^{-34}\ Js}$

- Substituindo **h** em I ou II, obtemos: $\boxed{\tau = 2{,}9 \cdot 10^{-19}\ J}$

Resposta: $h = 6{,}4 \cdot 10^{-34}$ Js

$\tau = 2{,}9 \cdot 10^{-19}$ J

25.

a) $h\,f = (6{,}6 \cdot 10^{-34}) \cdot (2{,}4 \cdot 10^{14}) \Rightarrow h\,f = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J = 1{,}0\ eV$

$E_c = h\,f - W \Rightarrow 0{,}90 = 1{,}0 - W \Rightarrow \boxed{W = 0{,}1\ eV}$

b) $eV_0 = E_c \Rightarrow 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot V_0 = 0{,}90 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{V_0 = 0{,}90\ V}$

Respostas: a) 0,1 eV; b) 0,90 V

26.

a) A ddp $V = -2{,}4$ V, para a qual a corrente se anula, é, em módulo, denominado "potencial" de corte (V_0):

$$\tau_{F_e} = E_{c_{ânodo}} - E_{c_{cátodo}} \Rightarrow -eV_0 = 0 - E_{c_{máx}} \Rightarrow E_{c_{máx}} = eV_0$$

$$hf = E_{c_{máx}} + W = eV_0 + W \Rightarrow \boxed{f = \frac{eV_0 + W}{h}}$$

$W = 1{,}90\ eV = 1{,}90 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J$

$$f = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2{,}4 + 1{,}90 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{f = 1{,}04 \cdot 10^{15}\ Hz}$$

b) Sejam:

i: intensidade da radiação.

Pot: potência recebida pelo cátodo.

E_t: energia total recebida pelo cátodo durante um tempo Δt.

A: área do cátodo ($A = 2{,}00\ cm^2 = 2{,}00 \cdot 10^{-4}\ m^2$).

n: número de fótons incidentes no cátodo **ou** número de elétrons extraídos dele durante um tempo Δt.

- $i = \frac{Pot}{A} = \frac{E_t}{A\,\Delta t} = \frac{n\,h\,f}{A\,\Delta t}$ (I)
- Para $V = 0$, $I = 3{,}0\ \mu A = 3{,}0 \cdot 10^{-6}\ A$

  $I = \frac{n\,e}{\Delta t} \Rightarrow n = \frac{I\,\Delta t}{e}$ (II)
- (II) em (I):

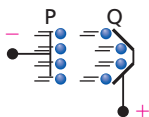
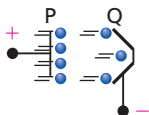
  $i = \frac{I\,\Delta t}{e} \cdot \frac{h\,f}{A\,\Delta t} = \frac{I\,h\,f}{e\,A}$

  $$i = \frac{(3{,}0 \cdot 10^{-6})(6{,}63 \cdot 10^{-34})(1{,}04 \cdot 10^{15})}{(1{,}6 \cdot 10^{-19})(2{,}00 \cdot 10^{-4})} \Rightarrow$$

  $$\Rightarrow \boxed{i = 6{,}5 \cdot 10^{-2}\ W/m^2}$$

Respostas: a) $1{,}04 \cdot 10^{15}$ Hz; b) $6{,}5 \cdot 10^{-2}\ W/m^2$

27.

- Luz incidente monocromática de frequência **f**: todos os fótons têm energias iguais a **h f**, independentemente da intensidade **I** dessa luz.
- Com $I_a = 2\,I_b$, a probabilidade de ejeção de elétrons em **a** é o dobro do que em **b**.
- Ocorrendo o efeito fotelétrico, mesmo com tensão igual a 0 V, detecta-se uma corrente i_0 no galvanômetro, sendo $i_{0_a} = 2\,i_{0_b}$.
- Com tensões U_{QP} positivas ($\nu_Q > \nu_P$) e crescentes, as correntes também crescem tendendo a valores máximos tais que $i_a = 2\,i_b$:

- Quando a tensão U_{QP} se torna negativa ($\nu_Q < \nu_P$) e vai diminuindo a partir de 0 V, os elétrons ejetados são freados cada vez mais intensamente:

Com isso, as correntes diminuem em **a** e em **b**, até que se anulam, o que ocorre em uma tensão igual a $-V_0$. O módulo dessa tensão, V_0, é denominado potencial de corte e eV_0 é igual a $E_{c_{máx}}$.

Lembrando que $hf = E_{c_{máx}} + W$ temos, para $i = 0$:

$$hf = eV_0 + W$$

Nas situações **a** e **b**, hf e **W** são constantes e, consequentemente, V_0 é igual para ambas.

Resposta: c

Página 356

29.

- De n = 1 para n = 2:

  $E = E_2 - E_1 = (-3{,}4) - (-13{,}6) \Rightarrow E = 10{,}2\ eV \Rightarrow$

  $\Rightarrow \boxed{\text{Fóton } f_2}$
- De n = 1 para n = 3:

  $E = E_3 - E_1 = (-1{,}5) - (-13{,}6) \Rightarrow E = 12{,}1\ eV \Rightarrow$

  $\Rightarrow \boxed{\text{Fóton } f_1}$
- De n = 2 para n = 3:

  $E = E_3 - E_2 = (-1{,}5) - (-3{,}4) \Rightarrow E = 1{,}9\ eV$

  Portanto, o fóton f_3 não poderá ser absorvido.

Resposta: f_1 e f_2

30.

Para haver emissão de um fóton, a transição deve ocorrer de um nível de energia mais alto para um mais baixo.

Portanto, as transições possíveis são II, III e IV.

Como ao menor comprimento de onda corresponde a maior frequência e E = h f, devemos optar pela transição em que ocorre a maior redução de energia, que é a III.

Resposta: c

31.

Se λ_a é o menor comprimento de onda, a ele corresponde a maior frequência. Então, a energia do fóton emitido também é a maior, correspondendo à transição de E_3 para E_1.

$$E = h\,f \Rightarrow E_3 - E_1 = \frac{h\,c}{\lambda_a} \Rightarrow \boxed{\lambda_a = \frac{h\,c}{E_3 - E_1}}$$

Resposta: 1. Transições eletrônicas de E_2 para E_1, de E_3 para E_1 e de E_3 para E_2.

2. $\frac{h\,c}{E_3 - E_1}$

32.

$E = E_2 - E_1 = (-3{,}4\ eV) - (-13{,}6\ eV) = 10{,}2\ eV$

$E = 10{,}2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ J = 16{,}3 \cdot 10^{-19}\ J$

$$f = \frac{E}{h} = \frac{16{,}3 \cdot 10^{-19}}{6{,}63 \cdot 10^{-34}} \Rightarrow \boxed{f = 2{,}5 \cdot 10^{15}\ Hz}$$

Resposta: a

33.

$$E = h\,f = \frac{h\,c}{\lambda} = \frac{(4{,}1 \cdot 10^{-15}\ eV \cdot s) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8}\ m/s)}{590 \cdot 10^{-9}\ m}$$

$\boxed{E = 2{,}1\ eV}$

Resposta: 2,1 eV

34.

a) $E_1 = -\frac{13{,}6\ eV}{1^2} = -13{,}6\ eV$

$E_2 = -\frac{13{,}6\ eV}{2^2} = -3{,}4\ eV$

$E = E_2 - E_1 = (-3{,}4) - (-13{,}6) \Rightarrow \boxed{E = 10{,}2\ eV}$

b) $E = \frac{h\,c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h\,c}{E} = \frac{(4{,}13 \cdot 10^{-15}\ eV \cdot s) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8}\ m/s)}{10{,}2\ eV}$

$\boxed{\lambda = 1{,}2 \cdot 10^{-7}\ m}$

Respostas: a) 10,2 eV
b) $1{,}2 \cdot 10^{-7}$ m

35.

- $\lambda_X = 1{,}03 \cdot 10^{-7}$ m

$\Delta E_X = \frac{h\,c}{\lambda_X} = \frac{(4{,}13 \cdot 10^{-15}) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8})}{1{,}03 \cdot 10^{-7}}$

$\Delta E_X \cong 12$ eV: transição de n = 3 para n = 1 ⇒ 2

- $\lambda_Y = 4{,}85 \cdot 10^{-7}$ m

$\Delta E_Y = \frac{h\,c}{\lambda_Y} = \frac{(4{,}13 \cdot 10^{-15}) \cdot (3{,}0 \cdot 10^{8})}{4{,}85 \cdot 10^{-7}}$

$\Delta E_Y \cong 2{,}6$ eV: transição de n = 4 para n = 2 ⇒ 6

Resposta: b

36.

Possíveis energias de excitação dos elétrons do átomo do elemento **X**:

$E_0 \rightarrow E_1$: 7,0 eV – 0 = 7,0 eV (*)
$E_0 \rightarrow E_2$: 13,0 eV – 0 = 13,0 eV (*)
$E_0 \rightarrow E_3$: 17,4 eV – 0 = 17,4 eV
$E_0 \rightarrow$ Ionização: 21,4 eV – 0 = 21,4 eV
$E_1 \rightarrow E_2$: 13,0 eV – 7,0 eV = 6,0 eV (*)
$E_1 \rightarrow E_3$: 17,4 eV – 7,0 eV = 10,4 eV (*)
$E_1 \rightarrow$ Ionização: 21,4 eV – 7,0 eV = 14,4 eV (*)
$E_2 \rightarrow E_3$: 17,4 eV – 13,0 eV = 4,4 eV (*)
$E_2 \rightarrow$ Ionização: 21,4 eV – 13,0 eV = 8,4 eV (*)
$E_3 \rightarrow$ Ionização: 21,4 eV – 17,4 eV = 4,0 eV (*)

As excitações (*) podem ocorrer, pois a energia do elétron é igual a 15,0 eV.
Possíveis sobras de energia do elétron:

15,0 eV –
- 7,0 eV = 8,0 eV
- $\boxed{13{,}0\ eV = 2{,}0\ eV}$
- 6,0 eV = 9,0 eV
- 10,4 eV = 4,6 eV
- 14,4 eV = 0,6 eV
- 4,4 eV = 10,6 eV
- 8,4 eV = 6,6 eV
- 4,0 eV = 11,0 eV

Resposta: d

37.

- $r_1 = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m

$r_n = n^2\, r_1 \Rightarrow r_2 = 2^2\, r_1 = 4\, r_1$

- Para n = 1:

$F_e = F_{cp} \Rightarrow \frac{K\,e\,e}{r_1^2} = \frac{m\,v_1^2}{r_1} \Rightarrow \frac{Ke^2}{r_1} = m\,v_1^2 \quad (1)$

- Para n = 2:

$F_e = F_{cp} \Rightarrow \frac{K\,e\,e}{r_2^2} = \frac{m\,v_2^2}{r_2} \Rightarrow \frac{Ke^2}{r_2} = m\,v_2^2 \quad (2)$

- Dividindo (2) por (1), membro a membro, obtemos:

$\frac{r_1}{r_2} = \frac{v_2^2}{v_1^2}$

Como $r_2 = 4\,r_1$: $\frac{r_1}{4\,r_1} = \frac{v_2^2}{v_1^2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1}{2} = \frac{2{,}2 \cdot 10^6}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow v_2 = 1{,}1 \cdot 10^6$ m/s

- $v_2 = 2\,\pi\,f_2\,r_2 \Rightarrow f_2 = \frac{v_2}{2\,\pi\,r_2} = \frac{1{,}1 \cdot 10^6}{(2\,\pi) \cdot (4 \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-11})}$

$f_2 = 8{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz

- Sendo **N** o número de revoluções no intervalo de tempo $\Delta t = 10^{-8}$ s, temos:

$f_2 = \frac{N}{\Delta t} \Rightarrow N = f_2 \cdot \Delta t = 8{,}3 \cdot 10^{14} \cdot 10^{-8} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{N \cong 8 \cdot 10^6\ \text{revoluções}}$

Resposta: d

38.

$\sqrt{t} = \frac{2{,}1 \cdot 10^9}{<T>} = 2{,}1 \cdot \frac{10^9}{3{,}0} \Rightarrow t = 4{,}9 \cdot 10^{17}$ s

Em anos: $t = \frac{4{,}9 \cdot 10^{17}}{3{,}2 \cdot 10^7} = 15 \cdot 10^9$ anos

$\boxed{t \cong 15\ \text{bilhões de anos}}$

Resposta: c

39.

$\lambda = 10^{-3}$ m

$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{-3}} \Rightarrow \boxed{f = 3 \cdot 10^{11}\ Hz}$

Resposta: d

Tópico 2 – Noções de Teoria da Relatividade

Página 370

1.

- $\Delta t' = 12$ meses; $v = 0{,}8$ c
- $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{12}{\sqrt{1 - 0{,}64}} = \frac{12}{0{,}6} \Rightarrow \boxed{\Delta t = 20\ \text{meses}}$

Resposta: 20 meses

2.

a) • $\Delta t = \Delta t' + 0{,}005\,\Delta t' = \underbrace{(1{,}005)}_{\gamma}\Delta t'$

- Da tabela:

$\gamma = 1{,}005 \Rightarrow v = 0{,}100$ c

$v = 0{,}100 \cdot 3{,}0 \cdot 10^8 \Rightarrow \boxed{v = 3{,}0 \cdot 10^7\ m/s}$

No dia a dia, as pessoas lidam com corpos de velocidades desprezíveis em relação a $3{,}0 \cdot 10^7$ m/s.

b) $v = 0{,}600$ c $\Rightarrow \gamma = 1{,}250$

$\Delta t = \gamma\,\Delta t' = 1{,}250 \cdot 10$ min

$\boxed{\Delta t = 12{,}5\ min}$

Respostas: a) $3{,}0 \cdot 10^7$ m/s; no dia a dia, as pessoas lidam com corpos de velocidades desprezíveis em relação a esse valor; b) 12,5 min

3.

Sendo ℓ a aresta da nave, medida pela astronauta, temos: $V_0 = \ell^3$.
Para um observador em repouso no referencial *S*, ocorre contração da aresta da nave na direção em que ela se move (direção do eixo **x**). Para ele, a aresta contraída mede ℓ' e o volume da nave mede **V**.

$$\ell' = \ell\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \ell\sqrt{1 - \frac{0{,}64\,c^2}{c^2}} = 0{,}6\,\ell$$

$V = \ell \cdot \ell \cdot \ell' = \ell^2 \cdot 0{,}6\,\ell = 0{,}6\,\ell^3 \Rightarrow \boxed{V = 0{,}6\,V_0}$

Resposta: $0{,}6\,V_0$

4.

A luz de Vega é recebida na nave com frequências aumentadas. Pelo efeito Doppler, isso significa que existe um movimento relativo de aproximação entre ambas.

Resposta: a

5.

Mesmo com $f < f_0$, se a fonte luminosa estiver se aproximando do material, ele poderá receber a luz com frequência maior ou igual a f_0, devido ao efeito Doppler. Satisfeita essa condição, ocorrerá o efeito fotoelétrico.

Resposta: e

6.

$$E = m\,c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot c^2 = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{E_0}{E} \Rightarrow 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{E_0^2}{E^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{E_0^2}{E^2} \Rightarrow \boxed{\frac{v}{c} = \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}}$$

Resposta: $\sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}$

7.

$E = Q\,c \Rightarrow h\,f = Q\,c \Rightarrow \boxed{Q = \frac{h\,f}{c}}$

Resposta: c

8.

a) $\text{Pot} = \frac{Q}{\Delta t} \Rightarrow Q = \text{Pot}\,\Delta t = 4000 \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 10^4$

$\boxed{Q = 3{,}6 \cdot 10^{14}\,J}$

b) $E = \Delta m\,c^2 = Q \Rightarrow \Delta m = \frac{Q}{c^2} = \frac{3{,}6 \cdot 10^{14}}{(3 \cdot 10^8)^2}$

$\boxed{\Delta m = 4 \cdot 10^{-3}\,kg}$

c) $\Delta m = 8 \cdot 10^{-4}\,M_U \Rightarrow 4 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-4}\,M_U$

$\boxed{M_U = 5\,kg}$

Respostas: a) $3{,}6 \cdot 10^{14}$ J; b) $4 \cdot 10^{-3}$ kg; c) 5 kg

9.

a) $N\,h\,f = m\,c^2 \Rightarrow N \cdot 6 \cdot 10^{-34} \cdot 6 \cdot 10^{14} = 0{,}4 \cdot (3 \cdot 10^8)^2$

$\boxed{N = 10^{35}}$

b) $h = \frac{E}{f}$

unidade de **h** $= \frac{J}{s^{-1}} = Js = N\,m\,s = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m\,s$

$\boxed{\text{unidade de } \mathbf{h} = kg\,m^2\,s^{-1}}$

Respostas: a) 10^{35}; b) $kg\,m^2\,s^{-1}$

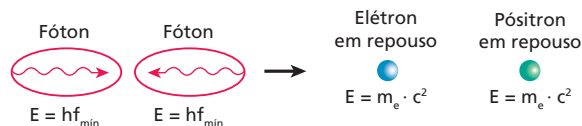
10.

$$E = Q\,c \Rightarrow \frac{h\,c}{\lambda} = Q\,c \Rightarrow Q = \frac{h}{\lambda} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,Js}{780 \cdot 10^{-9}\,m}$$

$\boxed{Q = 8{,}5 \cdot 10^{-28}\,\frac{Js}{m}}$

Resposta: d

11.

A frequência mínima dos fótons (energia mínina) corresponde à situação em que o elétron e o pósitron são produzidos em repouso:

Observe, nesse fenômeno, a conservação do momento.

Pela conservação da energia, temos:

$$h\,f_{mín} + h\,f_{mín} = m_e\,c^2 + m_e\,c^2 \Rightarrow 2\,h\,f_{mín} = 2\,m_e\,c^2 \Rightarrow f_{mín} = \frac{m_e\,c^2}{h}$$

Resposta: b

12.

$1\,MeV = 1{,}6 \cdot 10^{-13}\,J$

- Energia do elétron ou do pósitron: $E_e = m_0\,c^2 + E_c$
  Energia do fóton: $E = Q\,c = h\,f$
- Conservação da quantidade de movimento do sistema:

$$\vec{Q}_{e-} + \vec{Q}_{e+} = \vec{0} \Rightarrow \vec{Q}_{\gamma_1} + \vec{Q}_{\gamma_2} = \vec{0} \Rightarrow Q_{\gamma_1} = Q_{\gamma_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_{\gamma_1} = E_{\gamma_2} \Rightarrow \boxed{f_{\gamma_1} = f_{\gamma_2} = f}$$

- Conservação da energia do sistema:

$(m_0\,c^2 + E_c) + (m_0\,c^2 + E_c) = h\,f + h\,f = 2\,E$

$$E = m_0\,c^2 + E_c = \frac{(9{,}11 \cdot 10^{-31} \cdot 9{,}00 \cdot 10^{16})}{(1{,}6 \cdot 10^{-13})}\,MeV + 1{,}20\,MeV$$

$E = (0{,}51 + 1{,}20)\,MeV \Rightarrow \boxed{E = 1{,}71\,MeV}$

- $E = \frac{h\,c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h\,c}{E} = \frac{(6{,}63 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}00 \cdot 10^8)}{1{,}71 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-13}}$

$\boxed{\lambda = 727 \cdot 10^{-15}\,m = 727\,fm}$

Resposta: c

Tópico 3 – Comportamento ondulatório da matéria

Página 375

1.

$$E = Q\,c \Rightarrow Q = \frac{E}{c} = \frac{h\,f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Q é tanto maior quanto menor é λ.

Resposta: d

2.

$m\alpha \cong 4\,m_p = 4 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-27}$ kg $= 6{,}4 \cdot 10^{-27}$ kg

$$\lambda_\alpha = \frac{h}{m_\alpha v_\alpha} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}}{6{,}4 \cdot 10^{-27} \cdot 6{,}0 \cdot 10^6} \Rightarrow \lambda_\alpha = 1{,}7 \cdot 10^{-14}\ \text{m}$$

Resposta: c

3.

Os elétrons emitidos pelo cátodo estão livres dos átomos a que pertenciam. Assim, ao serem acelerados por forças elétricas, eles podem adquirir energias com valores que não estão sujeitos às restrições quânticas.

Resposta: a

4.

$v_0 = 0$

$V = 12{,}5 \cdot 10^3$ volts

- $\tau_{F_e} = eV = \dfrac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\dfrac{2\,eV}{m}}$
- $\lambda = \dfrac{h}{mv} \Rightarrow \dfrac{h}{m}\sqrt{\dfrac{m}{2\,eV}} = \dfrac{h}{\sqrt{2\,meV}}$

$$\lambda = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2\,(9 \cdot 10^{-31})\,(1{,}6 \cdot 10^{-19})\,(12{,}5 \cdot 10^3)}}$$

$$\boxed{\lambda = 11 \cdot 10^{-12}\ \text{m}}$$

Resposta: 11

5.

(1) Verdadeira.

$$F_{cp} = F_e \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = \frac{K\,Q_{\text{núcleo}}\,|Q_{\text{elétron}}|}{r^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{m\,v^2}{r} = \frac{K\,Z\,e\,e}{r^2} \Rightarrow m\,v^2\,r = K\,Z\,e^2$$

(2) Verdadeira.

Perímetro da órbita $= n\,\lambda \Rightarrow$

$$\Rightarrow 2\,\pi\,r = n\,\lambda \Rightarrow 2\,\pi\,r = n\frac{h}{m\,v} \Rightarrow 2\,\pi\,r\,m\,v = n\,h$$

(3) Falsa.

(4) Verdadeira.

De (1): $m\,(\omega\,r)^2\,r = K\,Z\,e^2 \Rightarrow m\,\omega^2\,r^3 = K\,Z\,e^2$

(5) Falsa.

Resposta: 1, 2 e 4.

6.

- Pelo Teorema da Energia Cinética:

$$\tau_{F_e} = E_c - 0 = E_c \Rightarrow eU = E_c$$

- $E = E_0 + E_c \Rightarrow E_c = E - E_0$

$$eU = \left[(m_0\,c^2)^2 + p^2\,c^2\right]^{\frac{1}{2}} - m_0\,c^2 \Rightarrow$$

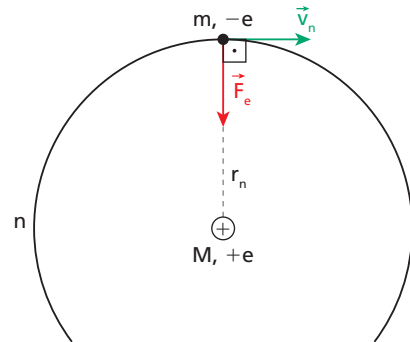
$$\Rightarrow \left[(m_0\,c^2)^2 + p^2\,c^2\right]^{\frac{1}{2}} = eU + m_0\,c^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (m_0\,c^2)^2 + p^2\,c^2 = e^2\,U^2 + 2\,e\,U\,m_0\,c^2 + (m_0\,c^2)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p^2 = \frac{e^2\,U^2}{c^2} + 2\,e\,U\,m_0 \Rightarrow p = \left[\left(\frac{e\,U}{c}\right)^2 + 2\,e\,U\,m_0\right]^{\frac{1}{2}}$$

- $\lambda = \dfrac{h}{p} \Rightarrow \boxed{\lambda = h\left[\left(\dfrac{eU}{c}\right)^2 + 2eU\,m_0\right]^{-\frac{1}{2}}}$

Resposta: $h\left[\left(\dfrac{e\,U}{c}\right)^2 + 2\,e\,U\,m_0\right]^{-\frac{1}{2}}$

7.

Energia potencial eletrostática do elétron: $E_{p_n} = \dfrac{K\,e\,(-e)}{r_n} = -1\dfrac{K\,e^2}{r_n}$

Energia cinética do elétron: $E_{c_n} = \dfrac{m\,v_n^{\,2}}{2}$

Como $F_{cp} = F_e$: $\dfrac{m\,v_n^{\,2}}{r_n} = \dfrac{K\,e^2}{r_n^{\,2}} \Rightarrow m\,v_n^{\,2} = \dfrac{K\,e^2}{r_n}$

$$E_{c_n} = \frac{1}{2} \cdot \frac{K\,e^2}{r_n}$$

Energia "total" do elétron:

$$E_n = E_{p_n} + E_{c_n} \Rightarrow \boxed{E_n = -\frac{1}{2}\,\frac{K\,e^2}{r_n} = -\frac{e^2}{8\,\pi\,\epsilon_0\,r_n}} \quad \text{(I)}$$

É importante notar que: $\boxed{E_n = -E_{c_n}}$

$2\,\pi\,r_n = n\,\lambda_n$

De (I): $\boxed{E_n = -\dfrac{e^2}{n\,4\,\epsilon_0\,\lambda_n}}$ $\quad$ (n = 1, 2, ...)

Dependendo das grandezas em função das quais deva ser dada a resposta, podemos encontrar outra expressão de E_n:

$$2\,\pi\,r_n = n\,\lambda_n = n\frac{h}{m\,v_n} \Rightarrow m\,v_n\,r_n = n\frac{h}{2\,\pi} \Rightarrow v_n = \frac{n\,h}{2\,\pi\,m\,r_n}$$

$$E_n = -E_{c_n} = -\frac{m\,v_n^{\,2}}{2} = -\frac{m}{2} \cdot \frac{n^2\,h^2}{4\,\pi^2\,m^2\,r_n^{\,2}}$$

$$\boxed{E_n = -\frac{n^2\,h^2}{8\,\pi^2\,m\,r_n^{\,2}}} \quad \text{(n = 1, 2, ...)}$$

Resposta: $-\dfrac{e^2}{n\,4\,\epsilon_0\,\lambda_n}$ ou $-\dfrac{n^2\,h^2}{8\,\pi^2\,m\,r_n^{\,2}}$ (n = 1,2,...)

Unidade V – ANÁLISE DIMENSIONAL

Análise dimensional

Página 384

1.

$[E] = M L^2 T^{-2}$; $[f] = T^{-1}$

$$h = \frac{E}{f} \Rightarrow [h] = \frac{[E]}{[f]} = \frac{ML^2 T^{-2}}{T^{-1}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{[h] = M L^2 T^{-1}}$$

Resposta: $M L^2 T^{-1}$

2.

$[F] = M L T^{-2}$

$$F = G\frac{M m}{d^2} \Rightarrow G = \frac{F d^2}{M m} \Rightarrow [G] = \frac{[F][d^2]}{[M][m]} = \frac{M T^{-2} L^2}{M^2}$$

$$\boxed{[G] = M^{-1} L^3 T^{-2}}$$

Unidade SI de G: $kg^{-1}\, m^3\, s^{-2}$

Resposta: $[G] = M^{-1} L^3 T^{-2}$; $kg^{-1}\, m^3\, s^{-2}$

3.

$[p] = F L^{-2}$; $[n] = F^0 L^0 T^0$ (adimensional)

$$p V = n R \tau \Rightarrow R = \frac{p V}{n \tau}$$

$$[R] = \frac{[p][V]}{[n][\tau]} = \frac{F L^{-2} L^3}{\theta} \Rightarrow \boxed{[R] = F L \theta^{-1}}$$

Resposta: $[R] = F L \theta^{-1}$

4.

Os módulos das grandezas vetoriais $\vec{H}$ (momento angular), $\vec{r}$ (vetor posição) e $\vec{Q}$ (momento linear) podem se relacionar por:

$H = r Q \Rightarrow [H] = [r]\,[Q]$

$[H] = L M L T^{-1}$

Da qual: $\boxed{[H] = M L^2 T^{-1}}$

Resposta: d

5.

a) $[V] = L T^{-1}$; $[\rho] = M L^{-3}$; $[\lambda] = L$

$$V^2 = \frac{2 \pi \sigma}{\rho \lambda} \Rightarrow \sigma = \frac{\rho \lambda V^2}{2 \pi}$$

$[\sigma] = M L^{-3} L (L T^{-1})^2$

Logo: $\boxed{[\sigma] = M L^0 T^{-2}}$

b) Unidade SI de σ: $kg\, s^{-2} = \frac{kg}{s^2}$

Respostas: a) $M L^0 T^{-2}$; b) $\frac{kg}{s^2}$

6.

$$F = \eta\, d\, v \Rightarrow \eta = \frac{F}{d v}$$

$[F] = M L T^{-2}$; $[d] = L$ e $[v] = L T^{-1}$

Logo: $[\eta] = \frac{M L T^{-2}}{L L T^{-1}}$

Daí: $\boxed{[\eta] = M L^{-1} T^{-1}}$

$\boxed{\text{Unidade do SI de } \eta\text{: } kg\, m^{-1}\, s^{-1}}$

Resposta: b

7.

$[F] = M L T^{-2}$; $[Q] = I T$; 4π é uma constante adimensional.

$$F = \frac{1}{4 \pi \varepsilon_0} \cdot \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} \Rightarrow \varepsilon_0 = \frac{|Q_1||Q_2|}{4 \pi F r^2}$$

$$[\varepsilon_0] = \frac{[Q_1][Q_2]}{[F][r^2]} = \frac{(I\,T)^2}{M L T^{-2} (L)^2}$$

$$[\varepsilon_0] = \frac{I^2 T^2}{M L^3 T^{-2}} \Rightarrow \boxed{[\varepsilon_0] = M^{-1} L^{-3} T^4 I^2}$$

Unidade SI de ε_0: $kg^{-1}\, m^{-3}\, s^4\, A^2$

Resposta: d

8.

a) $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta Q = i\, \Delta t \Rightarrow \boxed{[Q] = I T}$

Unidade SI de Q: $A \cdot s$ = coulomb (C)

b) $U = \frac{E}{Q} \Rightarrow [U] = \frac{M L^2 T^{-2}}{I T}$

$[U] = M L^2 T^{-3} I^{-1}$

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow [C] = \frac{[Q]}{[U]} = \frac{I T}{M L^2 T^{-3} I^{-1}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{[C] = M^{-1} L^{-2} T^4 I^2}$$

Unidade SI de C: $kg^{-1}\, m^{-2}\, s^4\, A^2$ = farad (F)

Respostas: a) IT; As = coulomb (C); b) $M^{-1} L^{-2} T^4 I^2$; $kg^{-1}\, m^{-2}\, s^4\, A^2$ = farad (F)

9.

$[a\, t^2] = L$; $[b\, t^3] = L$

$[a]\, T^2 = L \Rightarrow \boxed{[a] = L T^{-2}}$

$[b]\, T^3 = L \Rightarrow \boxed{[b] = L T^{-3}}$

Resposta: c

10.

$(M\,L\,T^{-2})^x\,M^y = L^3\,(ML^2\,T^{-2})^z$

$M^{x+y}\,L^x\,T^{-2x} = M^z\,L^{2z+3}\,T^{-2z}$

Identificando os expoentes das potências de mesma base, vem:

$x + y = z$

$2z + 3 = x$

$-2z = -2x \Rightarrow z = x$

Logo:

$2x + 3 = x \Rightarrow \boxed{x = -3}$ e $\boxed{z = -3}$

$x + y = x \Rightarrow \boxed{y = 0}$

Resposta: b

11.

$[A] = M\,L\,T^{-2}$; $[B] = L^2$

Logo: $[A\,B^{-1}] = M\,L\,T^{-2}\,(L^2)^{-1}$

$\boxed{[A\,B^{-1}] = M\,L^{-1}\,T^{-2}}$

A expressão $M\,L^{-1}\,T^{-2}$ corresponde à grandeza física pressão.

Resposta: e

12.

$v^\alpha = C\,\dfrac{P^\beta}{\rho}$

$[v] = L\,T^{-1}$; $[P] = M\,L^{-1}\,T^{-2}$; $[\rho] = M\,L^{-3}$

$(L\,T^{-1})^\alpha = \dfrac{(M\,L^{-1}\,T^{-2})^\beta}{M\,L^{-3}}$

$M^0\,L^\alpha\,T^{-\alpha} = M^{\beta-1}\,L^{3-\beta}\,T^{-2\beta}$

Identificando os expoentes das potências de mesma base, vem:

$\beta - 1 = 0 \Rightarrow \boxed{\beta = 1}$

$\alpha = 3 - \beta \Rightarrow \alpha = 3 - 1 \Rightarrow \boxed{\alpha = 2}$

Resposta: c

13.

$I = \dfrac{\Delta E}{S\,\Delta t} \Rightarrow [I] = \dfrac{[\Delta E]}{[S]\,[\Delta t]} \Rightarrow [I] = \dfrac{M\,L^2\,T^{-2}}{L^2\,T}$

Daí: $[I] = M\,L^0\,T^{-3} \Rightarrow I = A^x\,f^y\,\rho^z\,c$

Observando que: $[A] = L$; $[f] = T^{-1}$; $[\rho] = M\,L^{-3}$ e $[c] = L\,T^{-1}$, vem:

$M\,L^0\,T^{-3} = L^x\,(T^{-1})^y\,(M\,L^{-3})^z\,L\,T^{-1}$

Logo: $M\,L^0\,T^{-3} = M^z\,L^{x-3z+1}\,T^{-y-1}$

Identificando os expoentes das potências de mesma base, vem:

$\boxed{z = 1}$

$-y - 1 = -3 \Rightarrow \boxed{y = 2}$

$x - 3 + 1 = 0 \Rightarrow \boxed{x = 2}$

Resposta: d

14.

$[V] = [p]^x\,[\mu]^y$

$[V] = M^0\,L\,T^{-1}$; $[p] = M\,L^{-1}\,T^{-2}$; $[\mu] = M\,L^{-3}$

Logo: $M^0\,L\,T^{-1} = (M\,L^{-1}\,T^{-2})^x\,(M\,L^{-3})^y \Rightarrow$

$\Rightarrow M^0\,L\,T^{-1} = M^{x+y}\,L^{-x-3y}\,T^{-2x}$

Identificando os expoentes das potências de mesma base, vem:

$x + y = 0$

$-x - 3y = 1$

$-2x = -1 \Rightarrow \boxed{x = \dfrac{1}{2}}$ e $\boxed{y = -\dfrac{1}{2}}$

Logo: $V = p^{\frac{1}{2}}\,\mu^{-\frac{1}{2}}$

Da qual: $\boxed{V = \sqrt{\dfrac{p}{\mu}}}$

Resposta: $V = \sqrt{\dfrac{p}{\mu}}$

15.

$v = k\,F^x\,m^y\,d^z$ (k é uma constante adimensional)

$[v] = M^0\,L\,T^{-1}$; $[F] = M\,L\,T^{-2}$

Logo: $M^0\,L\,T^{-1} = (M\,L\,T^{-2})^x\,M^y\,L^z \Rightarrow M^0\,L\,T^{-1} = M^{x+y}\,L^{x+z}\,T^{-2x}$

Identificando os expoentes das potências de mesma base, vem:

$x + y = 0$

$x + z = 1$

$-2x = -1 \Rightarrow \boxed{x = \dfrac{1}{2}}$

Logo: $\boxed{y = -\dfrac{1}{2}}$ e $\boxed{z = \dfrac{1}{2}}$

Assim: $v = k\,F^{\frac{1}{2}}\,m^{-\frac{1}{2}}\,d^{\frac{1}{2}}$

Daí: $\boxed{v = k\left(\dfrac{F\,d}{m}\right)^{\frac{1}{2}}}$

Por outros métodos, conclui-se que $k = 1$.

Resposta: d

16.

$P = k\,\mu^x\,A^y\,V^z$ (k é uma constante adimensional)

$[P] = M\,L^2\,T^{-3}$; $[\mu] = M\,L^{-3}$; $[A] = L^2$ e $[V] = L\,T^{-1}$

Daí: $M\,L^2\,T^{-3} = (M\,L^{-3})^x\,(L^2)^y\,(L\,T^{-1})^z \Rightarrow$

$\Rightarrow M\,L^2\,T^{-3} = M^x\,L^{-3x+2y+z}\,T^{-z}$

Identificando-se os expoentes das potências de mesma base, vem:

$\boxed{x = 1}$

$-3x + 2y + z = 2$

$-z = -3 \Rightarrow \boxed{z = 3}$

Logo: $-3 + 2y + 3 = 2 \Rightarrow \boxed{y = 1}$

Assim: $\boxed{P = k\,\mu\,A\,V^3}$

Resposta: $P = k\,\mu\,A\,V^3$

17.

$\phi = k\,A^x\,(\Delta\theta)^y\,C^z\,e^{-1}$

$\phi = \dfrac{\Delta E}{\Delta t} \Rightarrow [\phi] = \dfrac{M\,L^2\,T^{-2}}{T} \Rightarrow [\phi] = M\,L^2\,T^{-3}$

$[A] = L^2$; $[\Delta\theta] = \theta$; $[C] = M\,L\,T^{-3}\,\theta^{-1}$ e $[e] = L$

Logo: $M L^2 T^{-3} \theta^0 = (L^2)^x \theta^y (M L T^{-3} \theta^{-1})^z L^{-1}$

$M L^2 T^{-3} L^0 = M^z L^{2x+z-1} T^{-3x} \theta^{y-z}$

Identificando-se os expoentes das potências de mesma base, vem:

$\boxed{z = 1}$

$2x + z - 1 = 2 \Rightarrow 2x + 1 - 1 = 2 \Rightarrow \boxed{x = 1}$

$y - z = 0 \Rightarrow y - 1 = 0 \Rightarrow \boxed{y = 1}$

Daí: $\boxed{\phi = k\, C \frac{A\, \Delta\theta}{e}}$

Trata-se da Lei de Fourier e, por outros métodos, obtém-se $k = 1$.

Resposta: $\phi = k\, C \frac{A\, \Delta\theta}{e}$

18.

$Z = k \left(\frac{\Delta P}{L}\right)^x a^y \eta^z$

$[\Delta P] = M L^{-1} T^{-2}$; $[L] = [a] = L$

$\eta = \frac{F}{A} \cdot \frac{d}{v}$

$[F] = M L T^{-2}$; $[A] = L^2$; $[d] = L$ e $[v] = L T^{-1}$

$[\eta] = \frac{M L T^{-2}}{L^2} \cdot \frac{L}{L T^{-1}} \Rightarrow [\eta] = M L^{-1} T^{-1}$

$Z = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ (Z representa a vazão)

$[Z] = \frac{L^3}{T} \Rightarrow [Z] = L^3 T^{-1}$

Logo:

$M^0 L^3 T^{-1} = \left(\frac{M L^{-1} T^{-2}}{L}\right)^x L^y (M L^{-1} T^{-1})^z$

$M^0 L^3 T^{-1} = M^{x+z} L^{-2x+y-z} T^{-2x-z}$

Identificando os expoentes das potências de mesma base, temos:

$x + z = 0 \Rightarrow z = -x$ (I)

$-2x + y - z = 3$

$-2x - z = -1 \Rightarrow 2x + z = 1$ (II)

(I) em (II): $2x - x = 1 \Rightarrow \boxed{x = 1}$ e $\boxed{z = -1}$

$-2(1) + y - (-1) = 3 \Rightarrow \boxed{y = 4}$

Então: $Z = k \frac{\Delta P}{L} a^4 \eta^{-1}$

Daí: $\boxed{Z = k \frac{\Delta P}{L} \cdot \frac{a^4}{\eta}}$

Resposta: b

19.

a) $F = \sigma \frac{d^3}{L} \Rightarrow \sigma = \frac{F L}{d^3}$

No SI, as unidades de **F**, **L** e **d** são, respectivamente, **N**, **m** e **m**; logo:

Unidade $(\sigma) = \frac{N\, m}{m^3} = \frac{N}{m^2}$

Lembrando que a unidade de força newton (N) pode ser expressa por:

$N = kg \frac{m}{s^2}$

Temos:

Unidade $(\sigma) = \frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg}{m\, s^2}$

Ou $\boxed{\text{unidade } (\sigma) = kg\, m^{-1} s^{-2}}$

b) Conforme o enunciado:

$\gamma = \frac{P}{V} \Rightarrow P = \gamma V$

Sendo $V = \frac{\pi d^2}{4} L$, segue que:

$\boxed{P = \frac{\gamma \pi d^2 L}{4}}$

c) O peso será a força vertical aplicada no centro da viga responsável por sua flexão e consequente ruptura. Logo:

$F = P \Rightarrow \frac{\sigma d^3}{L} = \frac{\gamma \pi d^2 L}{4}$

Daí: $\boxed{\frac{4\sigma}{\gamma \pi} = \frac{L^2}{d}}$

1º caso: $\frac{4\sigma}{\gamma \pi} = \frac{L_1^2}{d_1}$ (I)

2º caso: $\frac{4\sigma}{\gamma \pi} = \frac{(2 L_1)^2}{d_2}$ (II)

Comparando (I) e (II), vem:

$\frac{L_1^2}{d_1} = \frac{4L_1^2}{d_2} \Rightarrow \boxed{d_2 = 4 d_1}$

Respostas: a) $kg\, m^{-1} s^{-2}$; b) $\frac{\gamma \pi d^2 L}{4}$; c) $4 d_1$

20.

(I) O termo $e^{\frac{A}{B}t}$ deve ser adimensional, o mesmo ocorrendo com a diferença $1 - e^{\frac{A}{B}t}$. Logo:

$[V] = \frac{[F]}{[A]} \Rightarrow L T^{-1} = \frac{M L T^{-2}}{[A]} \Rightarrow \boxed{[A] = M T^{-1}}$

(II) O expoente $\frac{A}{B} t$ também deve ser adimensional. Assim:

$\frac{[A]}{[B]} [t] = M^0 L^0 T^0 \Rightarrow \frac{M T^{-1}}{[B]} T = 1 \Rightarrow \boxed{[B] = M}$

(III) $[A][B] = M T^{-1} M \Rightarrow \boxed{[A][B] = M^2 T^{-1}}$

Resposta: $M^2 T^{-1}$

21.

(I) $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2} \Rightarrow \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi F} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$

$[\varepsilon_0] = \frac{1}{M\,L\,T^{-2}} \frac{(I\,T)^2}{L^2} \Rightarrow \boxed{[\varepsilon_0] = M^{-1}\,L^{-3}\,T^4\,I^2}$

(II) $F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1\,i_2}{d} \ell \Rightarrow \mu_0 = 2\pi \frac{F\,d}{i_1\,i_2\,\ell}$

$[\mu_0] = \frac{M\,L\,T^{-2}\,L}{I^2\,L} \Rightarrow \boxed{[\mu_0] = M\,L\,T^{-2}\,I^{-2}}$

(III) $G = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0\,\mu_0}} \Rightarrow G = \varepsilon_0^{-\frac{1}{2}}\,\mu_0^{-\frac{1}{2}}$

$[G] = (M^{-1}\,L^{-3}\,T^4\,I^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot (M\,L\,T^{-2}\,I^{-2})^{-\frac{1}{2}}$

$[G] = M^{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}}\,L^{\frac{3}{2}-\frac{1}{2}}\,T^{-2+1}\,I^{-1+1}$

Logo: $[G] = M^0\,L\,T^{-1}\,I^0$

ou $\boxed{[G] = L\,T^{-1}}$

A grandeza **G** tem dimensão de velocidade. Particularmente, **G** é a velocidade da luz no vácuo ($G = c$).
Unidade SI de G: $ms^{-1} = m/s$

Resposta: LT^{-1}; m/s

22.

Deve-se inferir que:
$P = k\,R^x\,\omega^y\,\rho^z$
$[P] = M\,L^2\,T^{-3}$
$[R] = L$
$[\omega] = T^{-1}$
$[\rho] = M\,L^{-3}$
Logo:
$M\,L^2\,T^{-3} = L^x\,(T^{-1})^y\,(M\,L^{-3})^z$
$M\,L^2\,T^{-3} = M^z\,L^{x-3z}\,T^{-y}$
Identificando-se os expoentes das potências de mesma base, vem:

$\boxed{z = 1}$

$-y = -3 \Rightarrow \boxed{y = 3}$

$x - 3z = 2 \Rightarrow x - 3 \cdot 1 = 2 \Rightarrow \boxed{x = 5}$

Portanto:

$\boxed{P = k\,R^5\,\omega^3\,\rho}$

Resposta: $P = k \cdot R^5 \cdot \omega^3 \cdot \rho$